

**DESARROLLO DE LA COMPETENCIA ARGUMENTATIVA Y LA
CONSTRUCCIÓN DE CONCEPTOS BIOQUÍMICOS, A PARTIR DE UN
PROGRAMA GUÍA DE ACTIVIDADES EN EL MARCO DEL CÓDIGO
GENÉTICO.**

ALISON DAYANA BORDA BUITRAGO

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar por el título de
Licenciada en Química**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
BOGOTÁ
2022**

**DESARROLLO DE LA COMPETENCIA ARGUMENTATIVA Y LA
CONSTRUCCIÓN DE CONCEPTOS BIOQUÍMICOS, A PARTIR DE UN
PROGRAMA GUÍA DE ACTIVIDADES EN EL MARCO DEL CÓDIGO
GENÉTICO.**

ALISON DAYANA BORDA BUITRAGO

Director:

RODRIGO RODRIGUEZ CEPEDA

Químico, MBA, MSc, Dr.

Línea de investigación Alimentónica y enseñanza de las ciencias

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
BOGOTÁ
2022**

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACIÓN	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
4. OBJETIVOS	15
4.1. Objetivo general.....	15
4.2. Objetivos específicos.....	15
5. ANTECEDENTES	16
6. MARCO CONCEPTUAL.....	21
6.1. Cuestiones sociocientíficas (CSC).....	21
6.2. Competencia argumentativa	22
6.3. Programa Guía de Actividades (PGA)	25
6.4. Herramientas metacognitivas	27
6.4.1. Mentefactos.....	27
6.4.2. Mapas Conceptuales.....	27
6.5. Código genético	29
6.6. Enfermedades hereditarias.....	32
7. METODOLOGÍA.....	35
7.1. Población	35
7.2. Etapas de investigación	36
7.2.1. Etapa 1: Prueba diagnostica	36
7.2.2. Etapa 2: Diseño del programa guía de actividades (PGA)	36
7.2.3. Etapa 3: Evaluación de la eficacia del PGA	37
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	39
8.1. Prueba diagnóstica	39
8.2. Programa Guía de Actividades (PGA)	49
8.2.1. Actividad 1: Lectura de la historia de los ácidos nucleicos	49
8.2.2. Actividad 2: Mapa conceptual.....	53
8.2.3. Actividad 3: Estructura primaria de los ácidos nucleicos	58
8.2.4. Actividad 4: Estructura secundaria del ADN.....	61

8.2.5. Actividad 5: Estructura secundaria y replicación del ADN.....	65
8.2.6. Actividad 6: Dogma Central de la Biología Molecular.....	72
8.2.7. Actividad 7: Exposiciones y uso de códigos.....	78
8.3. Prueba de cierre.....	85
9. CONCLUSIONES.....	97
10. RECOMENDACIONES.....	99
11. BIBLIOGRAFÍA.....	100
12. ANEXOS.....	111
12.1. Anexo 1.....	111
12.2. Anexo 2.....	114
12.3. Anexo 3.....	116
12.4. Anexo 4.....	161

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Elementos de la competencias argumentativa	24
Imagen 2. Esquema de argumentación, según Toulmin (1993).....	24
Imagen 3. Estructura del ADN.....	30
Imagen 4. Tipos de ARN.....	30
Imagen 5. Transcripción y traducción.	31
Imagen 6. Gen.	32
Imagen 7. ECF.....	33
Imagen 8. CRISPR/Cas9.....	34
Imagen 9. Resultados del E7. Pregunta 3. Prueba diagnóstica	44
Imagen 10. Resultados del E11. Pregunta 3. Prueba diagnóstica	45
Imagen 11. Resultados del E4. Pregunta 1. Prueba diagnóstica	47
Imagen 12. Resultados del E4. Pregunta 2. Prueba diagnóstica	48
Imagen 13. Mapa conceptual referencial. Actividad 2. Fuente: Autora	54
Imagen 14. Mapa conceptual del E8. Actividad 2.	55
Imagen 15. Mapa conceptual del E2. Actividad 2.	57
Imagen 16. Resultados del E6. Actividad 3.....	59
Imagen 17. Representación de formación de puentes de hidrógeno en la estructura secundaria del ADN del E3. Actividad 4.....	62
Imagen 18. Mentefacto referencial de la parte 1 de la actividad 5.	67
Imagen 19. Mentefacto del E16 en la primera parte de la actividad 5.....	68
Imagen 20. Mentefacto del E18 en la primera parte de la actividad 5.....	69
Imagen 21. Resultados de los E2 (a) y E3 (b) en la parte 1 de la actividad 6.	73
Imagen 22. Resultados de los E8 (a) y E12 (b) en la segunda parte de la actividad 6.....	75
Imagen 23. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 1. Actividad 7.....	79
Imagen 24. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 2. Actividad 7.....	81
Imagen 25. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 3. Actividad 7.....	82

Imagen 26. Resultados del E4. Prueba diagnóstica y Prueba de cierre	87
Imagen 27. Resultados del E6. Prueba diagnóstica y Prueba de cierre	90
Imagen 28. Mapa conceptual referencial de prueba de cierre.	91
Imagen 29. Resultados del E5. Prueba de cierre.....	93
Imagen 30. Resultados del E17 en la Prueba de cierre.	94

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Mediana de resultados en el instrumento inicial.	42
Gráfica 2. Resultados instrumento inicial.	42
Gráfica 3. Resultados generales actividad 1.	49
Gráfica 4. Resultados de la evaluación del mapa conceptual.	55
Gráfica 5. Resultados de la evaluación de la actividad 3.	60
Gráfica 6. Comparación entre la primera parte de la actividad 3 y 4.	63
Gráfica 7. Resultados de la evaluación de la segunda parte de la actividad 4.	64
Gráfica 8. Resultados de la desviación estándar entre el valor de cada ítem del mentefacto. Actividad 5.	67
Gráfica 9. Resultados evaluados de la segunda parte de la actividad 5.	69
Gráfica 10. Resultados evaluados de la tercera parte en la actividad 5.	71
Gráfica 11. Resultados de la evaluación de la primera parte de la actividad 6.	73
Gráfica 12. Resultados de la evaluación de la segunda parte de la actividad 6.	74
Gráfica 13. Resultados evaluados de la tercera parte en la actividad 6.	76
Gráfica 14. Resultados de la evaluación del texto argumentativo en la actividad 7.	83
Gráfica 15. Resultados comparativos del instrumento inicial respecto a la prueba de cierre.	86
Gráfica 16. Resultados generales de la parte 2 de la prueba de cierre.	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles argumentativos. Fuente: Tamayo (2011, p. 218)	25
Tabla 2. Metodología para la aplicación de la prueba diagnóstica.	36
Tabla 3. Matriz evaluativa del experto.....	39
Tabla 4. Niveles de argumentación..	41
Tabla 5. Datos integrados a ATLAS.ti. Fuente: Autora	43
Tabla 6. Matriz para la evaluación de mapas conceptuales.	53
Tabla 7. Categorización de resultados de mapas conceptuales.	54
Tabla 8. Matriz evaluativa del mapa conceptual del E8.....	56
Tabla 9. Matriz evaluativa del mapa conceptual del E2.....	58
Tabla 10. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 1. Actividad 7.....	79
Tabla 11. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 2. Actividad 7.....	80
Tabla 12. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 3. Actividad 7.....	82
Tabla 13. Correlación en SPSS. Actividad 7	85
Tabla 14. Correlación en SPSS de mapa conceptual de la actividad 2 (PGA) y Prueba de cierre	95

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el sistema educativo del país está enmarcado en el desarrollo de competencias básicas, ciudadanas y laborales, con el propósito de formar individuos sobre conocimientos científicos con capacidad de aplicarlos en contextos diversos y complejos, integrándolos con sus propias actitudes y valores en un modo propio de actuar desde el punto de vista personal y profesional.

Una de las competencias de interés por las diferentes instituciones del país, es la competencia argumentativa por ser, la cual “se manifiesta cuando el individuo ha logrado integrar capacidades cognoscitivas como evaluar la información, disipar contradicciones y reflexionar sobre las afirmaciones y la evidencia que las sustenta” (Guzmán y Flores, 2012, p. 17).

Es de interés analizar y desarrollar la competencia argumentativa en torno a la bioquímica, particularmente al código genético, con el fin de que los futuros maestros de química aprendan a fundamentar, reflexionar, construir y reconstruir su conocimiento. De esta manera, se pretendió que los estudiantes desarrollaran habilidades del saber hacer en un contexto, que dieran cuenta de la importancia del conocimiento científico (saber saber) y su aporte para el desarrollo social a partir de la elaboración e implementación de un programa guía de actividades. Sin embargo, como seres competentes es pertinente destacar el desarrollo de actitudes de los educandos (saber ser) con el conocimiento y sus habilidades, ya que a su vez estos se alcanzan un buen desempeño como sujetos sociales.

De acuerdo con lo anterior, en la presente investigación, enmarcada en el proyecto de investigación DQU 037-S-S22 Student Chapter ACS-UPN Chimeía y financiado por el Centro de Investigaciones de la Universidad Pedagógica (CIUP), se diseña un Programa Guía de Actividades (PGA) con el propósito de desarrollar la competencia argumentativa en las y los estudiantes del ciclo de profundización de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional. Con lo cual, se lleva a cabo una estrategia que articula la cuestión sociocientífica de la modificación genética para el posible tratamiento de las enfermedades hereditarias a partir de un PGA.

Los resultados de la investigación se presentan en varios capítulos. El primero menciona la justificación, donde se dilucida la importancia del abordaje de las cuestiones sociocientíficas en las aulas de clase para el desarrollo de la competencia argumentativa desde controversias tales como, los tratamientos genéticos; en el segundo capítulo, se enuncia el planteamiento del problema bajo la necesidad del desarrollo de la argumentación como eje central para la formación de un sujeto participativo y reflexivo, lo que conlleva a evidenciar la falta de propuestas educativas que le apunten a propiciar la competencia de interés (Duque et al, 2021); para el tercer capítulo, se presentan los objetivos de la presente investigación.

Posteriormente, en el capítulo cuatro se manifiestan los antecedentes, en los que es posible denotar la carencia de investigaciones en el desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos bioquímicos desde la controversia de la modificación del código genético, por lo que se articula cada eje del documento desde los aportes teórico-prácticos y/o metodológicos de cada uno de ellos; seguidamente, en el capítulo cinco se indica el marco teórico, el cual enmarca los referentes necesarios para la investigación, esta sección está subdividida en: cuestiones sociocientíficas, programas guías de actividades, herramientas metacognitivas, competencia argumentativa, código genético y enfermedades hereditarias; asimismo, en el capítulo seis se presenta la metodología de investigación, en la que se articula el enfoque mixto a una metodología cuasiexperimental y a su vez se considera bajo un contexto sin grupo puntual. En la misma sección se caracteriza la población de interés, así como las etapas de la investigación; finalmente, en el capítulo siete, se presentan los análisis y resultados de las etapas enunciadas en la metodología; para así dar paso a las conclusiones y seguidamente a las recomendaciones a las cuales se llegaron con la presente investigación.

2. JUSTIFICACIÓN

Ante un sistema educativo que persigue el aprendizaje basado en competencias, es pertinente analizar el desarrollo de estas, de tal modo que se pueda vislumbrar la formación de sujetos competentes desde las diferentes áreas del conocimiento (Díaz, 2005). Así, en este trabajo es de interés la competencia argumentativa, particularmente en el área de bioquímica, pues se busca no solo que el estudiante adquiera una conceptualización, sino que, a través de sus saberes, éste pueda desarrollar su capacidad reflexiva defendiendo ideas, teniendo diálogos críticos, relacionando conceptos y resolviendo problemas, con el fin de articular las habilidades desarrolladas desde el conocimiento a la vida cotidiana del estudiante el cual es partícipe del espacio académico de *Sistemas Bioquímicos*.

Por consiguiente, las cuestiones sociocientíficas (CSC) en la enseñanza de las ciencias confieren el uso de temas controversiales para la enseñanza en ciencias y directamente el desarrollo de competencias (Campo y Rivera, 2020). Así, resulta oportuno abordar la temática de la *modificación genética para el posible tratamiento de enfermedades hereditarias*, en la búsqueda de futuras estrategias didácticas que generen motivación en los estudiantes de la licenciatura en química de la UPN.

De este modo, la presente investigación se direcciona hacia el diseño de metodologías encaminadas a la conceptualización bioquímica (código genético), que contribuyan a su vez al desarrollo de la competencia argumentativa, mediante un programa guía de actividades (PGA); asimismo, se busca la reflexión sobre el impacto socio-científico de la modificación genética en humanos para el posible tratamiento de la enfermedad de células falciformes, enfermedad que podría desencadenar el estudio de tratamientos para las múltiples enfermedades hereditarias ya existentes.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), “Cerca del 5% de la población mundial es portadora de genes causantes de hemoglobinopatías. Cada año nacen aproximadamente 300.000 niños con hemoglobinopatías importantes, de los cuales más de 200.000 son africanos con anemia falciforme, la elevada frecuencia del gen en ciertas áreas da lugar a elevadas tasas de natalidad de recién nacidos afectados por esta enfermedad” (p. 1). Por lo que se busca motivar a los estudiantes desde la modificación de ácidos nucleicos, de tal modo que, dichas personas afectadas, puedan tener una mejor calidad de vida. En consecuencia, se pretende desarrollar conocimientos, habilidades y actitudes desde un análisis del código genético de los seres humanos, desarrollando argumentos donde se planteen este tipo de controversias reales en contextos bioquímicos.

En contraste, la investigación resulta conveniente para los estudiantes desde una perspectiva cotidiana, pues, si los docentes reflexionan sobre sus prácticas tradicionalistas, pueden empezar a implementar propuestas didácticas desde

temáticas controversiales que desarrollen la argumentación a partir de lo científico, para que estas a su vez sean aplicadas por los educandos en su contexto. De modo que, si se cumple con el desarrollo de la competencia argumentativa desde el aula de clase, se estaría cumpliendo con lo establecido por el MEN (Ministerio de Educación Nacional) desde el Estatuto de Profesionalización Docente, establecido en el Decreto 1278 de junio 19 de 2002, donde se enfatiza que, se debe garantizar que la docencia sea ejercida por educadores idóneos y competentes.

Por otro lado, los docentes en ciencias deben estar en constante actualización, ya que hay temáticas que permiten motivar a los estudiantes. De esta manera, la labor de un maestro está ligada no solo al abordaje de una clase repitiendo teorías ya establecidas, sino que, el maestro debe ser un constante investigador en la elaboración de estrategias enfocadas a una mejora continua (Molina, 2019). Por tanto, la presente investigación llevada a cabo en el grupo de investigación Didáctica y sus ciencias y desde la línea de investigación Alimentónica y enseñanza de las ciencias, pretende aportar con estrategias, tales como lo son el diseño de un PGA articulado bajo las cuestiones sociocientíficas, en una propuesta para que las clases de ciencias se aborden de una forma diferente, con el fin de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en los estudiantes.

En la investigación se pretendió integrar las cuestiones sociocientíficas en un programa guía de actividades para el desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos bioquímicos, lo cual se espera aporte en el desarrollo de trabajos innovadores en la enseñanza de las ciencias mejorando continuamente el proceso de enseñanza – aprendizaje.

Finalmente, el texto cuenta con una utilidad metodológica, ya que podrían realizarse futuras investigaciones que utilicen métodos compatibles, de manera que posibiliten análisis conjuntos, comparaciones y evaluaciones de las intervenciones que se lleven a cabo para el desarrollo de la argumentación. También se resalta que, la investigación es viable debido a que se disponen de los recursos necesarios para llevarla a cabo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las preocupaciones más latentes del ser humano, es su salud, ya que influye en sus prácticas cotidianas y su calidad de vida. Por lo que, abarcar el posible tratamiento de enfermedades huérfanas a partir de la modificación genética embrionaria es de total importancia; sin embargo, esto ha generado debates ético morales que, en consecuencia, posibilitan a la presente investigación hacer uso de las CSC como estrategia didáctica para propiciar y evidenciar el desarrollo de la competencia argumentativa, favoreciendo la reflexión en cualquier contexto.

De este modo, al articular las cuestiones sociocientíficas a la genética se denotan implicaciones éticas, morales y sociales; lo que a su vez permite que los estudiantes tomen una postura crítica desde el código genético, pues, la manipulación de los ácidos nucleicos podría, “no solo curar las enfermedades genéticas, sino potenciar caracteres hereditarios positivos, como la estatura: la llamada manipulación genética perfectiva o de mejora, que podría abrirse a la aplicación masiva, la manipulación genética eugénica” (Gafo, 2012, p. 41). Lo cual, debería ser discutido en las aulas de clase, puesto que existen más de 10.000 enfermedades genéticas descritas en el mundo y afectan alrededor del 7% de la población mundial (Abarca et al, 2018).

En este contexto, actualmente la ciencia ha puesto atención en la modificación del código genético, tan es así que, las científicas Jennifer Doudna & Emmanuelle Charpentier (2012) dan a conocer su artículo “*A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity*” publicado en la revista Science, el cual causó tanto impacto que fue acreedor del Premio Nobel de Química en el 2020. Esto se debe a que las científicas dan a conocer: las tijeras genéticas con CRISPR/Cas9, que permiten cortar cualquier molécula de DNA en un punto determinado las cuales podrían servir para erradicar enfermedades hereditarias.

Así, asociar la bioquímica al tema controversial de interés, da paso al diseño de estrategias que desde temas debatibles y cuestionables despierten el interés de los estudiantes, lo que además conlleva a que el docente pueda repensarse en cada espacio académico, el abordaje de la clase teniendo en cuenta la mejora de la argumentación del estudiante.

Al diseñar una estrategia didáctica creciente, implícita y explícitamente se orienta el desarrollo de la competencia argumentativa de los estudiantes, puesto que comprender y refutar la bioquímica requiere de conocimientos, habilidades y actitudes netamente derivados de la argumentación.

La competencia argumentativa termina siendo de interés en la presente investigación puesto que es una de las competencias con más insuficiencia de

estudios (Duque et al, 2021); esta competencia es una de las más olvidadas y mal abordadas en aulas de clase, donde se enseña a argumentar como un contenido, sin detenerse en el proceso que requiere el desarrollo de la competencia de manera integral (Cifuentes, 2007). Para esto, hay que poner en práctica en los espacios académicos la argumentación, donde el estudiante tenga la capacidad de defender ideas con pertinencia y coherencia, confrontar y reflexionar. Por tanto, la naturaleza de los PGA y las CSC favorecen la implementación de controversias que propician el aprendizaje social e individual mejorando la construcción de conceptos y la competencia de interés.

El desarrollo de la competencia argumentativa en los estudiantes de la UPN, particularmente de la licenciatura en química, resulta importante debido a que, la capacidad argumentativa es esencial en el ámbito educativo y profesional, ya que es una competencia que el educando necesitará para desenvolverse en la sociedad y transmitir sus pensamientos, defender sus ideas, mantener diálogos abiertos y comprensivos con los demás, etc. Por ello resulta esencial que los estudiantes también la adquieran; así, desde la formación universitaria (ciclo de profundización) se persigue que los estudiantes, desarrollen esta competencia a través de las distintas asignaturas a cursar durante la carrera (García, 2015).

El propósito de la investigación es analizar el desarrollo de la competencia argumentativa de los estudiantes y los conceptos bioquímicos que construyen, desde la aplicación de un PGA diseñado bajo las cuestiones sociocientíficas, en el marco de la modificación genética para la prevención de enfermedades.

Bajo lo mencionado anteriormente, se plantea la siguiente pregunta:

¿De qué manera influye la aplicación de un PGA, en el desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos bioquímicos, en el marco de la modificación genética para la prevención de enfermedades?

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Analizar el desarrollo de la competencia argumentativa de los estudiantes y los conceptos bioquímicos que construyen, desde la aplicación de un PGA diseñado en el marco de la modificación genética para la prevención de enfermedades.

4.2. Objetivos específicos

- Analizar el nivel de desarrollo inicial de la competencia argumentativa con la que cuenta la población objeto de estudio y los conceptos previos sobre código genético.
- Diseñar un Programa Guía de Actividades, en el marco de las cuestiones sociocientíficas enfocado en la modificación de ácidos nucleicos para el posible tratamiento de enfermedades.
- Evaluar la eficacia del Programa Guía de Actividades frente al desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos bioquímicos en el marco del código genético.

5. ANTECEDENTES

Diversos autores, tales como Duarte, Cubillos y Zapata (2014), Matínez y Parga (2013), Pelayo y Martínez (2016), entre otros, han aportado investigaciones en las cuales relacionan temáticas disciplinares con las CSC favoreciendo el desarrollo de la argumentación. La forma en la que se articulan metodologías para que los estudiantes mejoren su capacidad de argumentar, se da a través de estrategias didácticas que despiertan el interés de estos. En este sentido, es pertinente en esta sección mencionar textos que a partir de las CSC han buscado aportar a la enseñanza de la bioquímica desarrollando a su vez la competencia argumentativa desde la modificación genética. No obstante, al realizar búsquedas exhaustivas se presenta dificultad en encontrar documentos que articulen los ejes del presente trabajo (competencia argumentativa, cuestiones sociocientíficas, enseñanza bioquímica y PGA). Sin embargo, algunas fuentes se relacionan entre sí aportando desde lo teórico-práctico y/o lo metodológico.

En consecuencia, Ishino et al (1987) publican el artículo *“Nucleotide sequence of the lap gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in Escherichia coli, and identification of the gene product”*, en el cual, desde la bacteria *Escherichia Coli* se da a conocer la primera secuencia repetida en el genoma, luego de realizar un análisis en 1664 nucleótidos de un segmento de ADN cromosómico. Posteriormente, Mojica (1993;2000) encuentra las mismas secuencias, pero en otro tipo de bacterias, las *Haloferax mediterranei*; a partir de esto, Mojica en el 2005, teniendo en cuenta los estudios de Jansen (2002), observa que los espacios entre las secuencias hacen parte del material genético de determinados virus que afectan a las bacterias, identificando así que esta peculiaridad actúa como sistema de defensa en estos microorganismos.

Todo lo anterior, fue la base para que el equipo Doudna y Charpentier (2012) desde la secuenciación de CRISPR obtuvieran las llamadas: Tijeras moleculares, como lo enuncian en su artículo *“A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity”*. Con las que se pretenden realizar modificaciones genéticas en los humanos para el tratamiento de enfermedades; lo que ha conllevado a diversos debates éticos y morales. Tanto así que, para el 2018 el científico He Jiankui anuncia que a partir de la fecundación in vitro y el uso de CRISPR/cas9, nacen las gemelas con resistencia al VIH, lo cual causó gran controversia pues, las distintas aplicaciones de la edición genética tienen complejas implicaciones técnicas, legales y éticas, puesto que es posible que los cambios realizados en el ADN sean transmitidos a descendientes, lo que introduciría cambios irrevocables en la especie humana (Núñez, 2020, pág. 12).

En el marco de lo controversial, Martínez (2014), realiza una revisión de investigaciones en el campo de la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente (CTSA) “destacando la emergencia del abordaje de las CSC a partir de

controversias tales como: transgénicos, clonación, cambio climático, genoma humano, entre otros” (pág. 85). Asimismo, un estudio realizado por Díaz & Jiménez (2012) determina que, “a pesar de las múltiples controversias el mayor interés en diferentes artículos publicados se denota en la biotecnología” (pág. 61). En correlación, se evidencia la modificación genómica como puente para la implementación de estrategias didácticas bajo las CSC en pro del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Teniendo en cuenta lo mencionado, Cortés y Escobar (2016) publican su artículo: *Las modificaciones genéticas, su historia e implicaciones éticas en el campo científico contemporáneo*; con el objetivo de “reconocer la historia de las modificaciones genéticas en los organismos provocadas por el humano, así como identificar el tránsito de sus implicaciones éticas en el campo científico y esbozar las posibilidades de la biotecnología en la educación” (pág. 14); a través de una metodología cualitativa. Allí se enfatiza en que el papel de la educación es de importancia, ya que abrir paso a una mirada compleja de lo que representan las modificaciones genéticas, promueve a las posturas críticas y reflexivas en los estudiantes fortaleciendo el sentido de la ética profesional y la relación entre el ser humano y su ambiente. Por lo que, el incorporar la biotecnología en las aulas de clase de los futuros docentes podría contribuir a la actualización constante del maestro en ciencias.

Martínez y Parga (2013) a través de una revisión en la literatura y con el objetivo de analizar las CSC en la enseñanza de las ciencias con un enfoque CTSA, expresan que, al trabajar controversias sociocientíficas en las aulas de clases en ciencias los estudiantes y los profesores permiten la circulación de posturas a favor o en contra, de una determinada cuestión y para su sustentación se exige un conocimiento de la evidencia científica existente, al igual que la necesidad de comprender los componentes sociales, políticos, económicos y ambientales alrededor de las cuales se puede tejer una controversia (pág. 32).

En este contexto, Martínez y Torres (2011) en su artículo denominado: “*Desarrollo de pensamiento crítico en estudiantes de Fisioterapia, a partir del estudio de las implicaciones sociocientíficas de los xenobióticos*”, en función de una investigación cualitativa y con una población de estudiantes de fisioterapia en clases de bioquímica, caracterizan las habilidades de los estudiantes haciendo uso del test Halpern, para luego a partir de artículos presentados en medios de comunicación hacer un estudio de aspectos sociales, ambientales, tecnológicos y bioquímicos inmersos en la cuestión de interés; finalmente, estructuran el desarrollo del pensamiento crítico y las habilidades argumentativas. Los resultados permitieron dilucidar que, a partir de las CSC, se posibilitó articular aspectos conceptuales de la bioquímica con sus implicaciones socioambientales, favoreciendo el desarrollo de la habilidad de pensamiento crítico, la resolución de problemas y análisis de argumentos (pág. 78). En virtud de ello, Ruiz, Solbes y Furió (2013); Carvajal y

Martínez (2014); y Achury y Álvarez (2015); afirman que la implementación de CSC incide progresivamente en el desarrollo de la competencia argumentativa.

Ruiz, Sobles y Furió (2013) publican el artículo *“Debates sobre cuestiones sociocientíficas. Una herramienta para aprender física y química”*, en el que se cuestiona el hecho de que los estudiantes memorizan las teorías aceptadas por la comunidad científica como una verdad absoluta dejando de lado la construcción del conocimiento desde sus saberes apriorísticos. Sin embargo, mediante actividades previas, posteriores y evaluaciones para las que se utilizaron bases de orientación, rúbricas de coevaluación y diagramas de Toulmin, las cuestiones sociocientíficas consiguieron mejorar la competencia argumentativa escrita y oral en el estudiante, con la finalidad de que estas habilidades desarrolladas sean aplicadas en cualquier situación cotidiana.

Naranjo y Peña (2019) en su trabajo de grado titulado: *Fortalecer la competencia argumentativa desde el tema de la geometría molecular a través del diseño, validación y aplicación de una secuencia didáctica*, llevan a cabo la aplicación de una secuencia didáctica enmarcada en la explotación minera como cuestión sociocientífica, en estudiantes de grado décimo en la Escuela Normal Superior de Nocaima Cundinamarca. Con lo cual, se obtuvieron resultados en las aulas de clase y trabajos realizados por los estudiantes que fueron analizados bajo un enfoque mixto. En tal investigación se concluye que los estudiantes a partir de la controversia logran construir argumentos de nivel medio y alto propiciando la competencia argumentativa.

En la revista Góndola de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Martínez y Carvajal (2014) dan a conocer su artículo titulado: *“Enculturación científica a partir de la argumentación: una cuestión sociocientífica (CSC) sobre implantes estéticos”*, en el cual, las situaciones controversiales son el puente para el desarrollo de habilidades argumentativas. En la investigación, es importante resaltar que los estudiantes de manera creciente logran un nivel de argumentación 2 construyendo afirmaciones desde la reflexión y el conocimiento científico y tecnológico sobre los implantes estéticos en el cuerpo humano.

“Desarrollo de la competencia argumentativa a través de la toma de decisiones en el abordaje de la cuestión sociocientífica: uso y comercialización del PVC”, es un artículo escrito por Archury y Álvarez (2015), en el que, a partir de una secuencia de actividades y una matriz de evaluación, los estudiantes desarrollan la competencia argumentativa desde cuestiones controvertidas dando respuesta a: ¿por qué el PVC había sido prohibido en comunidades europeas?, ¿por qué su proceso de producción genera cáncer? y ¿por qué hay emisión de dioxinas cuando se incinera este material? (pág. 69). Una vez se pusieron en práctica las cuestiones mencionadas fue posible articular conocimientos científicos a ideales éticos y morales en los estudiantes.

Al relacionar la argumentación a la construcción de conceptos, Bernache (2019) menciona que, cuando se lleva a cabo el proceso de argumentación como capacidad cognitiva básica en los seres humanos, es necesario el uso de conceptos comprendidos por el individuo para tener la habilidad de refutar y reflexionar en un intercambio de posturas desiguales. Es decir, que desarrollar la capacidad argumentativa implícitamente favorece el constructo de conceptos. De esta manera, autores como Pérez (2020) en su artículo *“La cocina como estrategia para mejorar la enseñanza y aprendizaje de los conceptos bioquímicos”*, por medio de la aplicación de un pretest para identificar ideas previas, posibles obstáculos epistemológicos y temas con falencias conceptuales (pág. 127), implementa guías que le permiten concluir un avance significativo en la comprensión de los conceptos relacionados con la bioquímica que a su vez fortalecen la argumentación en los estudiantes.

Del mismo modo, Villafane et al (2011), en su artículo *“Development and Analysis of an Instrument to Assess Student Understanding of Foundational Concepts Before Biochemistry Coursework”*, refleja el diseño de instrumentos los cuales pueden usarse como prueba preliminar para identificar las ideas incorrectas de los estudiantes sobre determinados conceptos bioquímicos, para dar cuenta si los estudiantes superan esos errores conceptuales con el uso de un postest. Lo anterior, con el fin de propiciar la comprensión de conceptos y tácitamente el desarrollo de la competencia argumentativa en la disciplina de interés.

Por esto, diseñar estrategias para la formación en competencias incide de manera positiva como lo afirma Tinjaca (2017) en el cual la construcción de un Programa Guía de Actividades propició las competencias cognitivas en torno al concepto ácido-base, tales como la argumentación, y donde el uso de herramientas metacognitivas posibilita el análisis progresivo en los estudiantes. Del mismo modo, Rubio, (2006) en su trabajo *“Estrategia Metodológica para el Aprendizaje Significativo de las relaciones del volumen con la presión y temperatura a partir de de la Teoría Cinético Molecular de los gases”* establece que la aplicación de un PGA aporta al cambio conceptual en los estudiantes en ciencia de modo que se generan habilidades de pensamiento crítico.

Cárdenas y Zúñiga (2016) realizan una investigación cuasiexperimental con un enfoque semicuantitativo de tipo descriptivo, titulada cómo: *Programa Guía de Actividades para el aprendizaje significativo de conceptos relacionados con las propiedades de los elementos químicos*, el cual es aplicado en estudiantes de grado once en el colegio Departamental Miguel Antnio Caro. Allí, se realizó una prueba de entrada para reconocer los conocimientos previos de los estudiantes en torno a las propiedades y clasificación de los elementos químicos, para posteriormente aplicar un Programa Guía de Actividades como estrategia. Los resultados les permitió a los investigadores concluir que se favoreció el aprendizaje significativo con la implementación del PGA.

Cada uno de los trabajos mencionados anteriormente, dan cuenta de los aportes significativos que las cuestiones sociocientíficas, de la competencia argumentativa y la aplicación de estrategias como los Programas Guía de Actividades brindan a la enseñanza de las ciencias y particularmente de la bioquímica. Por ende, en la presente investigación es conveniente articular cada uno de estos elementos que favorecen el proceso de enseñanza – aprendizaje para así generar aportes a la educación en ciencias.

Los antecedentes aquí descritos aportan a la investigación en aspectos tales como: la competencia argumentativa, la construcción de conceptos, las cuestiones sociocientíficas y los programas guías de actividades; debido a que estos se integran en función del desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos bioquímicos a partir de un PGA diseñado bajo una controversia en específico (la manipulación genética), donde dicha articulación poco ha sido trabajado y emerge como innovación.

6. MARCO CONCEPTUAL

6.1. Cuestiones sociocientíficas (CSC)

Propiciar la enseñanza de las ciencias en las últimas décadas ha sido de gran importancia para los didactas debido a que se busca prescindir de la educación tradicionalista. Por tanto, se han originado alternativas que, desde el cuestionamiento de implicaciones sociales, éticas, morales, económicas y políticas, conceden el desarrollo del conocimiento científico.

Las controversias por su definición como dilemas complejos, abiertos, a menudo polémicos y sin respuesta definitiva (Sadler, 2004), dan la posibilidad de abordar temas debatibles en las aulas de clase estimulando el interés de los estudiantes, donde se debe contar con dos posturas discrepantes que expresen sus argumentos, hipótesis, teorías y reflexiones.

De esta manera, en la enseñanza surgen las CSC como asuntos tecnocientíficos controvertidos, actuales y de interés social, que “permiten la discusión de temas como el calentamiento global, la utilización de antibióticos para la producción animal, la clonación, la experimentación en animales, las fumigaciones aéreas, la utilización de teléfonos móviles, entre otros” (Torres, 2011). En virtud, se destacan las características de las CSC según Ratcliffe y Grace (2003, como se citó en Salazar y Martínez 2013):

- Tienen una base científica que a menudo hace parte de investigaciones de frontera.
- Involucran la formación de opiniones.
- Son frecuentemente divulgadas por los medios de comunicación.
- Pueden tener evidencias científicas o sociales incompletas.
- Se pueden abordar las dimensiones locales, nacionales y mundiales.
- Involucran valores y razonamientos éticos.
- Pueden requerir comprensión de probabilidad y riesgo.

En este sentido, las CSC como estrategia didáctica bajo contextos polémicos, pretende formar sujetos no solo desde lo profesional, sino también desde lo personal; educando individuos conocedores de la ciencia para implícitamente incentivar la participación ciudadana (Acevedo et al, 2005). Para ello, es fundamental el rol activo del estudiante en el aula de clase, en donde debe examinar las causas, consecuencias, ventajas y desventajas, post y contras de la posición que asuma éste (Vera, 2015).

Asimismo, es necesario que el abordaje de estas cuestiones controversiales sea de manera interdisciplinar, dado que, al desarrollarlas a partir desde diversas áreas del conocimiento, el estudiante tiene la oportunidad de comprender las CSC de manera integral, teniendo en cuenta todas las interacciones e implicaciones en

los distintos entornos sociales; para esto, es importante que los temas sean abordados desde el contexto de los educandos (Arias & Dallagnol, 2016).

Para lograr lo anterior, Zeidler et al (2005) menciona cuatro aspectos esenciales para la enseñanza a partir de las CSC, las cuales se anuncian a continuación:

- Aspecto de la naturaleza de las ciencias: Las orientaciones epistemológicas sobre la naturaleza de la ciencia influyen en cómo los estudiantes prestan atención a la evidencia en apoyo o en conflicto con sus sistemas de creencias con respecto a cuestiones sociales.
- Aspecto del discurso en el aula: Es importante guiar los puntos de vista en los estudiantes sobre la ciencia a través de la argumentación, en pro a las construcciones de conocimiento desde del discurso de las cuestiones controvertidas.
- Aspecto cultural: La diversidad de las aulas de ciencias modernas incluye alumnos de diversas culturas, por lo que es preciso por parte del docente, presentar polémicas desde la multiculturalidad.
- Aspectos basados en casos: El uso de controversias cercanas por parte del docente en las que los estudiantes se involucren en el discurso y la reflexión.

En consecuencia, si se espera estimular y desarrollar las habilidades de razonamientos en los estudiantes, se les debe brindar varias oportunidades para que adquieran y perfeccionen dichas habilidades, pues a su vez esto permitirá el desarrollo del pensamiento crítico y la argumentación (Simmons y Zeidler, 2003).

6.2. Competencia argumentativa

La educación basada en competencias promueve herramientas y soluciones para los docentes en el contexto de un aprendizaje activo, interdisciplinario e integral, que responde a las necesidades del contexto, como la construcción de mecanismos para comparar, relacionar, seleccionar, evaluar y escoger información adecuada, enfrentando nuevos lenguajes científicos y tecnológicos para la resolución de problemas; por lo cual ha de ser un proceso abierto y flexible de desarrollo de aptitudes donde, se establezcan los diseños curriculares, que posibiliten garantizar un desempeño más efectivo y pertinente en correspondencia con las necesidades de la población y no solo con las del mundo laboral (Vidal, Salas, y Fernández, 2016). Así, la evaluación basada en competencias sería una nueva orientación de las instituciones pretendiendo dar respuestas a las necesidades de la sociedad.

Ahora bien, la educación basada en competencias está encaminada a estudiar las potencialidades del sujeto a partir de las diversas teorías las cuales se enfatizan en un aprendizaje significativo. De modo que, el concepto de competencia de manera particular tal y como se entiende en la educación, nace de las teorías de la cognición y esencialmente significa saberes de ejecución, puesto que “todo

conocer se traduce en un saber, entonces es posible decir que son recíprocos competencia y saber: saber pensar, saber desempeñar, saber interpretar, saber actuar en diferentes escenarios desde sí para los demás” (Argundín, 2015). Por lo que, resulta conveniente mencionar que en Colombia la competencia es entendida por el MEN, como el conjunto de conocimientos, actitudes, disposiciones y habilidades (cognitivas, socioafectivas y comunicativas), relacionadas entre sí para facilitar el desempeño flexible y con sentido de una actividad en contextos relativamente nuevos y retadores; por lo tanto, la competencia implica conocer, ser y saber hacer.

Y es el Ministerio de Educación Nacional (como se citó en Naranjo y Peña, 2019), la institución encargada de definir los lineamientos curriculares bajo el modelo de Estándares Básicos de Competencias científicas; los cuales buscan que los estudiantes desarrollen las habilidades científicas y las actitudes requeridas para explorar fenómenos y resolver problemas (Ministerio de Educación Nacional [MEN], 2004). Por dende, los profesores en ciencias deben articular los saberes al conocimiento científico brindándole al estudiante herramientas que formen un sujeto de manera integral.

Por tanto, de manera articulada y desde su complejidad, competencia en la presente investigación se entiende como “una convergencia de comportamientos sociales, afectivos y habilidades cognoscitivas, psicológicas, sensoriales y motoras que permiten llevar a cabo adecuadamente un papel, un desempeño, una actividad o una tarea” (Argundín, 2015), por lo que es importante destacar que desde la educación se retoman los saberes (saber ser, saber hacer y saber saber) los cuales relacionan el conocimiento, las habilidades y las actitudes.

Es de interés en el trabajo la competencia argumentativa la cual es definida por el ICFES (1998, citado por Osorio 2005), como:

“Una acepción amplia, que da razón y explicación de las afirmaciones y propuestas, respetando la pertinencia y la coherencia esencialmente ligadas a juegos del lenguaje determinados y a formas de vida específicas; por esto, la competencia argumentativa no sólo debe ser entendida como aquella acción propia del diálogo personal de la relación intersubjetiva, donde el otro puede explicar su punto de vista y ser escuchado y valorado; es claro que la argumentación en tanto fundada en la interpretación es una acción contextualizada que busca dar explicación a las ideas que articulan y dan sentido al texto” (pág. 9).

Lo anterior denota la necesidad de reflexionar, refutar, cuestionar y generar habilidades de pensamiento crítico a partir de la competencia argumentativa, para dar cuenta si las tesis contrapuestas son válidas o carecen de significado. Así, para Toulmin (2003) la argumentación es una actividad compleja que comprende varias premisas, vinculados entre sí y de forma modalizada con una conclusión, toda vez que se contempla unas posibles refutaciones, se aportan pruebas adicionales y se inscribe en el contexto dialógico de una interacción comunicativa

inacabada. Por ello resulta pertinente analizar lo que sucede entre los datos de partida y la conclusión, las clases de garantías y respaldos que apoyan los datos, los tipos de calificadores modales que alteran la conclusión,

Al ser de interés por el MEN la competencia argumentativa Guzmán, Flores y Tirado (2013) agrupan de manera articulada los componentes menester para el desarrollo de la competencia los cuales se evidencian en la imagen 1:

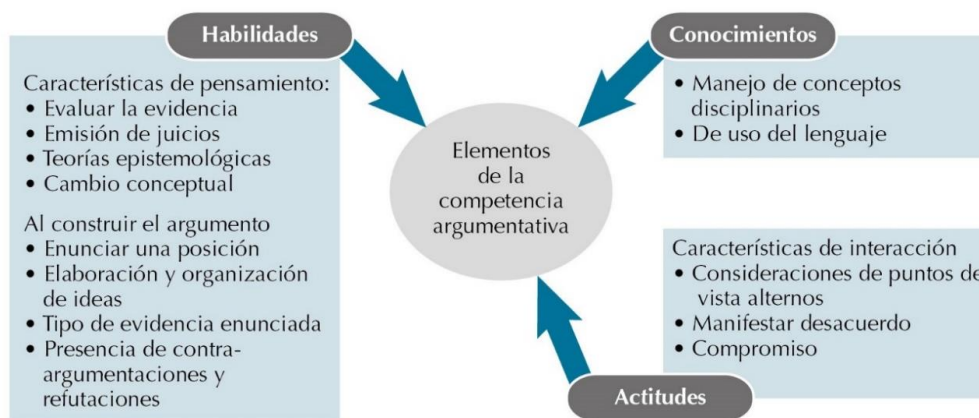


Imagen 1. Elementos de la competencia argumentativa. Fuente: Guzmán, Flores y Tirado (2013, p. 19)

Se compone entonces, partiendo del Imagen 1, que las habilidades (saber hacer) incluyen varios recursos cognitivos, los cuales se articulan con los conocimientos (saber saber) y las actitudes (saber ser y convivir), todo esto, para que el estudiante logre un desempeño eficiente en la construcción de un argumento dialógico (Guzmán, Flores y Tirado, 2013).

Con el fin de caracterizar la argumentación en la educación en ciencias, el modelo de Toulmin (2003, como se citó en Sardá y Sanmartí, 2000), permite reflexionar con el estudiante, destacando la importancia de las relaciones lógicas que debe haber entre ellas. Es decir, posibilita una metareflexión sobre las características de una argumentación científica (pág. 408). Lo anterior se denota en la imagen 2.

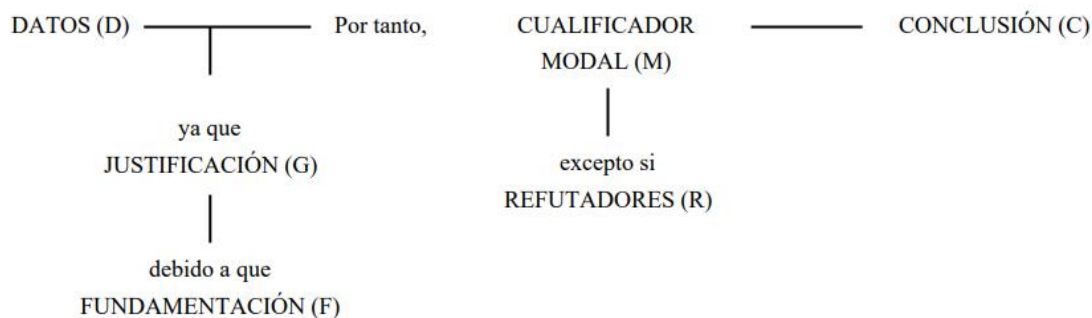


Imagen 2. Esquema de argumentación, según Toulmin (1993). Fuente: Sardá y Sanmartí (2000, p. 408)

Teniendo en cuenta lo mencionado por Toulmin, se abordan niveles que indiquen en qué medida se da el desarrollo de la capacidad argumentativa en los estudiantes. Por ende, es conveniente mencionar los niveles descritos por Tamayo (2011), donde la calidad del argumento se puede medir a partir de lo expuesto en la tabla 1.

Niveles argumentativos	Características
Nivel 1	Comprende los argumentos que son una descripción simple de la vivencia
Nivel 2	Comprende argumentos en los que se identifica con claridad los datos y una conclusión
Nivel 3	Comprenden argumentos en los cuales se identifican con claridad los datos, conclusiones y justificación.
Nivel 4	Comprende argumentos constituidos por datos, conclusiones y justificaciones, haciendo uso de cualificadores o respaldo teórico.
Nivel 5	Comprende argumentos en los que se identifican datos, conclusión(es), justificación(es), respaldo(s) y contraargumento(s).

Tabla 1. Niveles argumentativos. Fuente: Tamayo (2011, p. 218)

6.3. Programa Guía de Actividades (PGA)

Furió y Gil (1978) elaboran la idea de Programa Guías de Actividades donde el desarrollo del currículum de cada tema habría de programarse a base de actividades a realizar por los estudiantes, constituyendo el mismo y, con estas actividades se trata en la medida de lo posible, de colocar a los estudiantes en situación de producir conocimiento, de explorar alternativas superando la mera asimilación de conocimientos ya elaborados. De modo que las actividades aborden temáticas contextuales y cercanas a los estudiantes.

En este sentido, el aprendizaje con base a los PGA se construye entonces a partir de los conocimientos previos en los que se relacionan con las nuevas concepciones y el contexto que el docente decida abordar. Así, el aprendizaje se da de manera social e individual interacciones ideas de los estudiantes con la experiencia y las ideas de los otros, modificándose así, las propias ideas, que experimentan más o menos cambios profundos durante el proceso (Driver, 1988, como se citó en Tinjaca Navas, 2017).

El diseño y la aplicación de PGA se concibe bajo la idea de hacer un análisis grupal e individual que permita a los participantes construir conocimiento colectivo

e individualmente, en el que a partir de actividades se realizan evidencias que articule la ciencia y su contexto. En consecuencia, las actividades deben contar un límite de ejercicios en la que cada sujeto o grupo lo realiza de manera autónoma, para que seguidamente el profesor oriente los aciertos o desaciertos del desarrollo de la actividad y de manera conjunta se socialicen los resultados; por lo que el papel del docente es importante ya que será quien oriente y retroalimente cada una de las actividades (Gil y Martínez, 1987). De esta manera, utilizar un programa-guía consiste en la realización ordenada de las actividades propuestas, seguida, cada una de ellas en general, por una puesta en común con reformulación del profesor que puede así ayudar a clarificar y completar el trabajo de los estudiantes (Tinjaca, 2017).

En consecuencia un Programa Guía de Actividades, tendrá que contener una construcción de conocimientos a partir de la participación conjunta del profesorado mediante orientación y retroalimentación y; por parte los estudiantes con el desarrollo de las actividades su participación en clases. Sin embargo, es importante destacar que dichas actividades pueden estar en constante cambio el cual depende de las necesidades que el maestro encuentre en el desarrollo de la clase. Por ende, el mismo tendrá que estar en constante indagación y diseñando actividades de manera creativa y organizada estimadas bajo los estándares establecidos por el MEN.

Así, el diseño de un programa guía deberá contar con una construcción conceptual la cual pueda ser llevada a contextos reales, empero, esto se deberá realizar con una correspondencia integral donde se lleven a cabo interacciones creativas que incentiven el aprendizaje significativo en los estudiantes. En este sentido, es pertinente precisar en las diferentes etapas que dan cuenta de la efectividad de la aplicación de un PGA, los cuales son establecidas por Furió y Gil (1978).

- Iniciación: Motivación, abordaje de manera general, ideas o conceptos con la que cuenta los estudiantes y delimitación de problemáticas a abordar.
- Desarrollo: Construcción conceptual que le de al estudiante herramientas para situar cada nuevo conocimiento a una contexto específico, reiteración de la conceptualización, diferencias y semejanzas, elaboración de herramientas metacognitivas, retroalimentación, obtención de resultados de las respectivas actividades para el análisis de las nuevas habilidades con la que cuentan los estudiantes.
- Acabado: Síntesis de lo abordado en clase en casos cotidianos o problemas en los cuales se busque una solución sociocientífica por parte de los estudiantes.

Por tanto, es necesario contrastar los resultados iniciales y finales para la mejora continua del diseño de los programas guía como estrategia que propicie el aprendizaje significativo en los estudiantes (Furió y Gil, 1978).

6.4. Herramientas metacognitivas

Estas herramientas son entendidas en la investigación desde Chorobak, (2003):

“Son estrategias de organización que consisten en establecer de un modo explícito relaciones internas entre los elementos que componen los materiales de aprendizaje y los conocimientos previos que posee el estudiante. Los conocimientos previos operan en una doble función: primero, porque depende de los que el aprendiz posea, el que pueda elaborar de manera más o menos compleja esos materiales, y en segundo, lugar porque la estructura cognitiva resultante del nuevo aprendizaje modificará la organización de esos conocimientos previos. Entre las estrategias consideradas de organización, se suelen citar las clasificaciones, las estructuras de nivel superior, la construcción de redes de conocimiento, los mapas conceptuales, mentefactos, la Uve de Gowin, etc.”

De esta manera, las herramientas metacognitivas permiten evaluar la construcción y relación de conceptos de los estudiantes con el fin de evidenciar la adquisición de conocimientos en los espacios académicos y; en virtud de ello, en el presente trabajo se enfatiza en las dos herramientas utilizadas en el Programa Guía de Actividades Diseñado.

6.4.1. Mentefactos

En la investigación llevada a cabo se concierne el mentefacto como lo afirma Ibáñez (2006):

“Éste es un diagrama jerárquico cognitivo que organiza y preserva el conocimiento, en él se plasman las ideas fundamentales y se desechan las secundarias. Los mentefactos conceptuales realizan dos funciones: organizan las proposiciones y preservan los conceptos así almacenados, mediante un diagrama simple jerárquico. Antes de construir un mentefacto conceptual se deben construir las proposiciones. Para estructurarlas y organizarlas en supraordinadas, exclusiones, isoordinadas e infraordinadas”

6.4.2. Mapas Conceptuales

Los mapas conceptuales son definidos como “diagramas bidimensionales que muestran relaciones jerárquicas entre conceptos de una disciplina y que derivan

su existencia de la propia estructura de la disciplina” (Moreira y Buchweitz, 1988 citado por Costamagna, 2001). Por tanto, esta herramienta termina siendo una construcción de conceptos compleja que refleja la relación y comprensión entre los mismos.

Los criterios contemplados para la valoración de los mapas conceptuales en la presente investigación tomados de Rodríguez (2017) los cuales se presentan inmediatamente:

- El número de conceptos propuestos utilizados (NCPU), multiplicado por dos, que es un valor relativamente subjetivo de acuerdo con el grado de importancia dado a esta característica en el mapa conceptual.
- El número de conceptos propuestos válidos (NCPV), hace referencia a la ubicación acertada en la estructura jerárquica, indicadora de un conocimiento aceptable por parte del estudiante, por tal razón el factor por el cual se multiplica es el más alto (cuatro), indicando el grado de importancia.
- Valoración jerárquica (VJ). Indirectamente hace referencia a la elaboración correcta del mapa conceptual, su estructura jerárquica y el uso de conectores entre conceptos es indicador de ello, sin embargo, el valor por el cual se multiplica es uno debido a que no es un parámetro tan crucial, él depende de la experiencia que tiene el alumno en elaborar mapas conceptuales y no necesariamente el nivel de conocimiento en el tema central sobre el cual versa el mapa, para este caso el valor máximo posible es cinco.
- La verbalización del conocimiento es un fuerte indicador del conocimiento en algún tema, es por ello que en un mapa conceptual se refleja en la estructuración correcta de proposiciones, con conceptos relacionados mediante conectores, esta condición hace que el número de proposiciones válidas (NPV) se multipliquen por cuatro, a fin de asignarles un peso importante en la valoración total.
- La complejidad de un mapa conceptual implica una mayor elaboración del conocimiento, y se ve reflejada en las relaciones cruzadas entre proposiciones, es así como el número de relaciones cruzadas válidas (NRCV) se multiplican por cuatro para asignarles una valoración alta en el puntaje total final.
- En las indicaciones dadas para la elaboración del mapa conceptual se da libertad para que el estudiante incluya otros conceptos diferentes a los propuestos, con el fin de determinar lo que el estudiante sabe del tema, si bien esta no es una característica menor, se asigna una importancia media, por esta razón al número de conceptos nuevos válidos (NKNV) se multiplica por dos.
- Así como las proposiciones válidas y las relaciones cruzadas válidas son de gran importancia al valorar el mapa conceptual, el hecho de elaborar una proposición mal es un indicativo de un conocimiento o aprendizaje erróneo,

hecho que debe reflejarse en la valoración final, es así como el número de proposiciones erradas (NPE) se multiplica por cuatro, pero se resta al puntaje total final.

- El puntaje total (PT) es la sumatoria de todos los valores anteriores, con lo que se consolida el resultado.
- El puntaje total referencia (PTR) es el valor obtenido por un mapa conceptual de referencia, para efectos de esta investigación se utiliza el elaborado por el profesor, como lo recomienda Novak y Gowin (1984), y se utiliza para normalización del valor asignado.
- La valoración (V) es la asignación numérica normalizada que se le asigna al mapa conceptual y puede tomar valores ente 0 y 10. k) Valoración asignada (VA) según rango es el valor asignado que vincula la evaluación holística con otra parametrizada

La matriz implementada se encuentra en el apartado de resultados.

6.5. Código genético

Cabe destacar la importancia de que los estudiantes relacionen la bioquímica con su contexto desde temáticas que les resulten llamativas para su posterior indagación, construcción de conceptos y desarrollo de la competencia argumentativa. Por tal razón, se le da a conocer al estudiante la codificación genética y su posible modificación en pro al mejoramiento de la salud del ser humano. A continuación, se enuncian conceptos bioquímicos que son necesarios para el abordaje de la controversia que acoge a la edición del código genético.

Entendiéndose el ADN desde Martínez (2010) como:

“La molécula constituida por una doble cadena en la que cada una de sus hebras está formada por uniones covalentes sucesivas entre un azúcar (desoxirribosa) y una molécula de fosfato. Cada azúcar de las dos cadenas está unido a una de las siguientes 4 bases nitrogenadas adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T). Estas 4 bases tienen distintas posibilidades de unión entre ellas a través de puentes de hidrogeno. Así, la A y la T, tienen 2 puentes de hidrogeno, mientras que la G y la C, tienen 3 puentes de hidrogeno. El número de puentes de hidrogeno establece una complementariedad específica entre las bases que determina sus uniones. Sin embargo, en la molécula del ácido ribonucleico (ARN), la T es substituida por el uracilo (U). En el ADN, los dos extremos de los <<esqueletos>> de las dos cadenas complementarias de unidades <<fosfato-desoxirribosa-base nitrogenada>> (llamadas nucleótidos) terminan en un grupo fosfato en uno de los extremos que se denomina extremo 5', y un hidroxilo del azúcar en el otro extremo, que se denomina 3'. Así, los dos <<esqueletos>> de desoxirribosa-fosfato-base se enfrentan en sentido contrario de manera que el extremo 5' se enfrenta siempre al 3' a través de las uniones complementarias de las bases, lo que confiere estabilidad a la doble cadena de ADN.” (pág. 274).

Para mejor comprensión, véase la imagen 3.

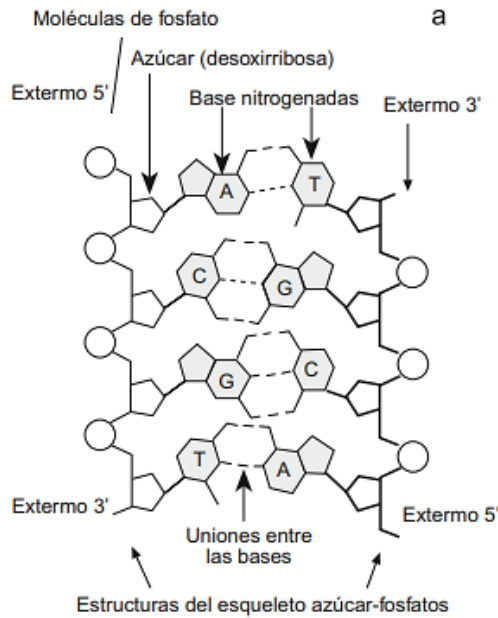


Imagen 3. Estructura del ADN. Fuente: Martínez (2010, p. 274)

En consecuencia, el ADN agrupa las bases nitrogenadas en tripletes (codones) de tal modo, que cada una de estas codificaciones genere un aminoácido. Es decir, que la combinación de AGA dará como resultado el aminoácido Arginina (R). Es importante mencionar que este código genético también especifica el comienzo (codón de iniciación) y la finalización (codón de terminación) de la región codificante (Eberhard, 2009).

Sin embargo, para la síntesis de proteínas es pertinente tener en cuenta los diferentes tipos de ARN y cómo estos inciden en el proceso. Se conocen tres tipos de ARN: ARNm, ARNt y ARNr (imagen 4). Los tres tipos de ARN se sintetizan en el núcleo mediante enzimas ARN polimerasas bajo la dirección del ADN (Brandan, Aguirre, Llanos y Rodríguez 2011) permitiendo que suceda la transcripción y la traducción.

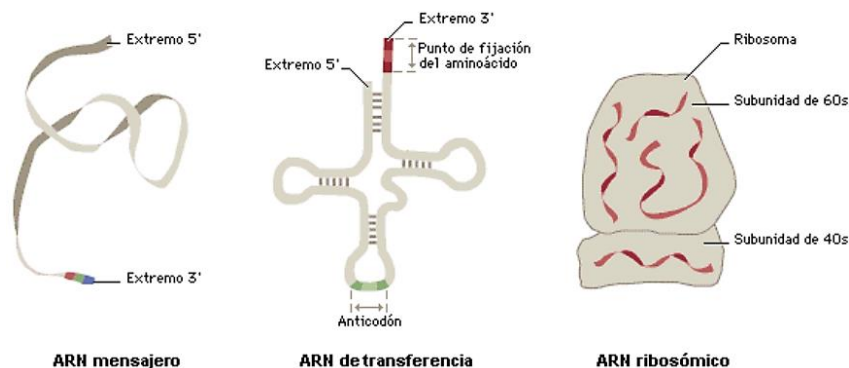


Imagen 4. Tipos de ARN. Fuente: Brandan, Aguirre, Llanos y Rodríguez (2011, p. 06)

Cuando el ARN codifica interactuando con el ADN, se da la formación del Pre-ARNm y seguidamente el ARNm en el núcleo de la célula efectuando la llamada transcripción; luego, el ARNm que se acaba de formar es llevado al citoplasma en donde se da la traducción. Durante la traducción, el ARNm es capaz de unirse al ribosoma (ARNr) para que éste pueda encontrarse con el ARNt y sus respectivos anticodones hacia la formación de aminoácidos. Así, la totalidad del material genético del ARNm que ha sido traducido se desprende del ribosoma para continuar con su función en el organismo. Véase el imagen 5.

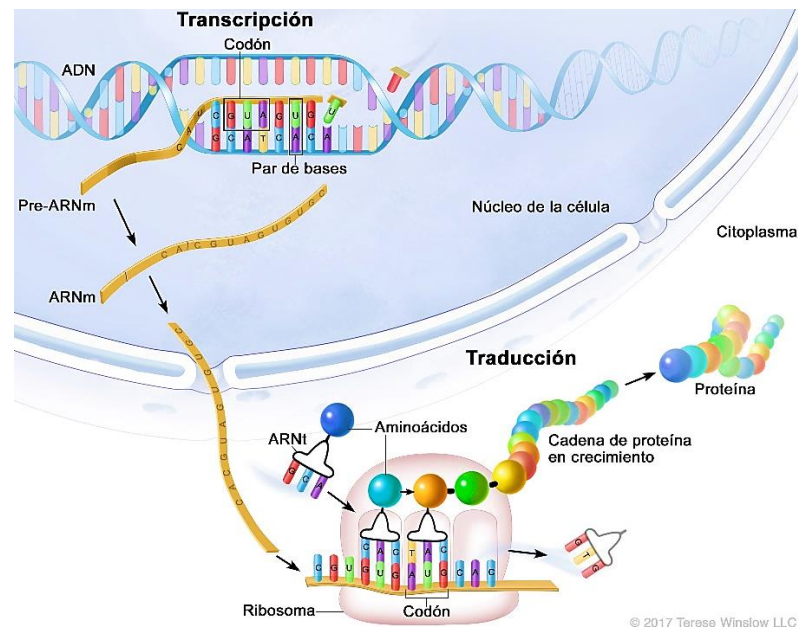


Imagen 5. Transcripción y traducción. Fuente: Instituto Nacional del Cáncer (2015)

En este momento se destaca el gen como una parte fundamental para lo descrito en el párrafo anterior debido a que los genes son un fragmento del ADN con la estructura que se muestra en el imagen 6, que consiste en segmentos denominados exones e intrones; formando el Pre-ARNm; subsiguientemente, se “produce una separación de los intrones quedando sólo los exones formando así el ARNm, este proceso de separación de los exones y los intrones, y la posterior unión de los exones se denomina en inglés *splicing*, que significa unión” (Martínez, 2010)

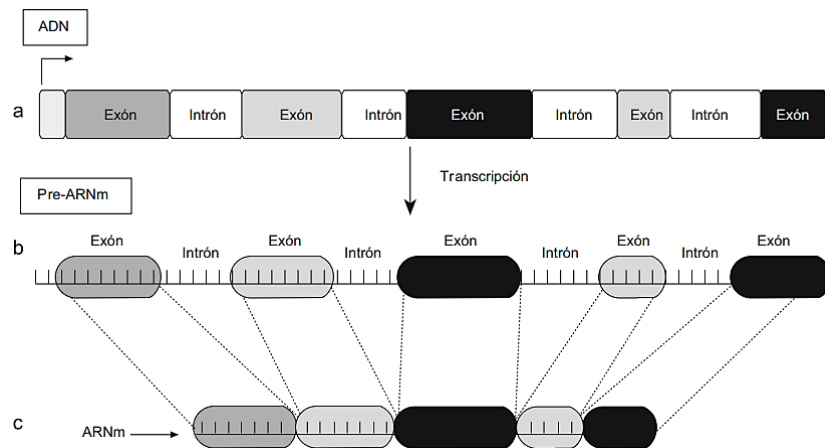


Imagen 6. Gen. Fuente: Martínez (2010, p. 275)

6.6. Enfermedades hereditarias

Si bien la genética del ser humano logra darse de manera propia y aparenta ser invulnerable, no lo es. Los organismos sufren mutaciones, es decir, cambios, en general irreversibles, de una característica del genoma; este cambio, que por otro lado puede no ser observado inmediatamente a nivel del fenotipo, se transmite como un nuevo rasgo hereditario y se presenta bajo las formas más variadas y sutiles (Sociedad Española para las Ciencias en Animales de Laboratorio [SECAL], 2014).

Todos los seres, sin excepción, sufren mutaciones en sus genomas y este proceso es fundamentalmente aleatorio. Las mutaciones pueden presentarse sobre células somáticas o germinales, en células embrionarias o adultas, en cada caso con consecuencias diferentes; pueden afectar tanto secuencias que codifican para proteínas como secuencias regulatorias o repetitivas. Las mutaciones tienen ventajas e inconvenientes: una ventaja es que la aparición de mutaciones permite a los individuos adquirir polimorfismos (variabilidad genética) y por consecuencia evolucionar; un inconveniente es que la mayor parte de esas mutaciones tienen efectos deletéreos o patológicos, representados por las enfermedades hereditarias (Benavides y Jean, 2004).

En particular, en esta investigación se debe precisar en la enfermedad monogénica (alteración en un gen) de células falciformes. Esta anemia es una enfermedad genética de herencia autosómica recesiva, es decir, los individuos que padecen la enfermedad descienden generalmente de padres sanos heterocigotos, es decir, que poseen una dosis simple del gen en cuestión (González y Méndez, 1992). Así, Cervera, García y Collazo (2012) mencionan que,

La anemia drepanocítica, como también se le conoce, es causada por mutaciones puntuales en el gen HBB, localizado en el brazo corto del cromosoma 11, locus 15.5. La variante alélica β^S , originada por una

sustitución de adenina por timina en el sexto codón del gen de β globina, es la causa más común de anemia falciforme; el resultado de esa sustitución provoca la aparición de un residuo de valina en lugar de ácido glutámico, por lo que al ser este un aminoácido apolar, surge un “parche” hidrofóbico en la superficie de la molécula. Esta alteración tiene poco efecto sobre la solubilidad de la hemoglobina S oxigenada, pero sí se reduce significativamente en la molécula desoxigenada; por otra parte, la variante alélica β^C (HbC), es producto de la sustitución de guanina por adenina, lo que genera que en el ARNm se encuentre codificado el aminoácido lisina en lugar de ácido glutámico (pág. 366).

La Enfermedad de Células Falciformes (ECF) afecta la hemoglobina donde los glóbulos rojos obtienen forma de Hoz (imagen 7) los cuales son rígidos e impiden el transporte la sangre perturbando el funcionamiento normal del organismo.



Imagen 7. ECF. Fuente: NIHMedlinePlus Revista (2018)

Sin embargo, la genética ha venido evolucionando para apoyar a la medicina y minimizar la cantidad de enfermedades genéticas, como la ECF, buscando enfoques que desde la edición genética se pueda inhibir este tipo de enfermedades. Así, nace CRISPR/Cas9, bajo la idea de realizar terapias que le permitan tener a los pacientes una mejor calidad de vida. CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, o Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Espaciadas) es un mecanismo de defensa en bacterias y arqueas análogo al silenciamiento con ARN interferente en eucariontes, que identifica y degrada secuencias de ácidos nucleicos exógenos. Se compone de dos elementos: un ARN proveniente de la secuencia CRISPR, llamado «ARNcr», y la endonucleasa Cas. El ARNcr es el encargado de dirigir a Cas hacia su secuencia complementaria, donde Cas realiza el corte (Lammoglio et al, 2016).

La secuencia blanco que es cortada por Cas9 está determinada por la secuencia del ARN guía, por lo que basta con sintetizar una nueva molécula de ARN para redireccionar a la nucleasa hacia otro gen (imagen 8); en este aspecto, en CRISPR, por cada secuencia que se quiere editar, se requiere diseñar una nueva enzima (Giono, 2017).

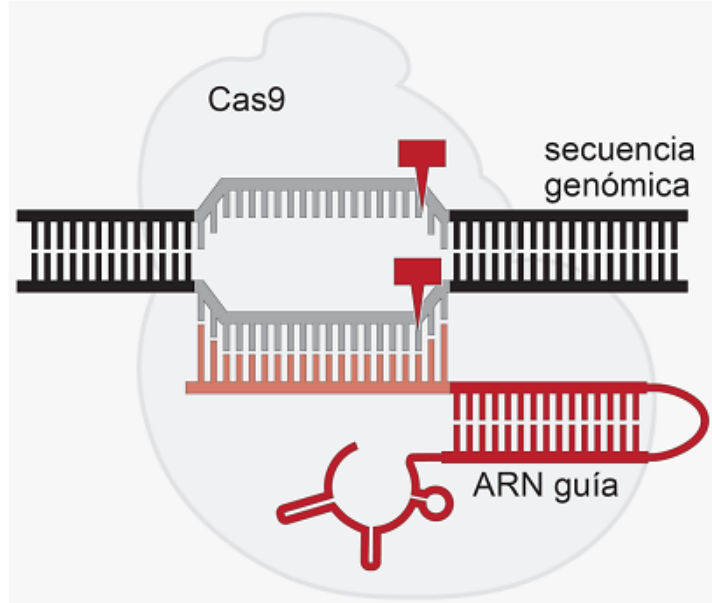


Imagen 8. CRISPR/Cas9. Fuente: Giono (2017, p. 406)

Las Tecnologías basadas en CRISPR prometen a los pacientes con enfermedades huérfanas contar con una solución; el estudio de mecanismos celulares que permitan de genes y mecanismos reguladores que subyacen a cambios en la hemoglobina abrió el camino para la aplicación clínica y preclínica de nuevos enfoques a terapias génicas que podrían convertirse en el futuro en una opción terapéutica generalizada para el elevado número de pacientes afectados por hemoglobinopatías (Carbó, 2021).

7. METODOLOGÍA

La presente investigación aborda aspectos didácticos de la bioquímica, al realizar un enfoque desde la controversia de la modificación genética a partir de estrategias que den cuenta de la importancia del análisis del genoma humano en las aulas de clase, encaminada al desarrollo de la competencia argumentativa desde la aplicación de un PGA. Así, la finalidad de la investigación pertenece a un espectro educativo desde las CSC, con una metodología cuasiexperimental sin grupo control, la cual, “es un plan de trabajo con el que se pretende estudiar el impacto de los tratamientos y/o los procesos de cambio en situaciones donde los sujetos de observación no han sido asignados de acuerdo con un criterio aleatorio” (Arnau, 1995, como se citó en Fernández et al, 2014, p. 757).

Del mismo modo, la investigación abarca un enfoque mixto que permite integrar, en un mismo estudio, “metodologías cuantitativas y cualitativas, con el propósito de que exista mayor comprensión acerca del objeto de estudio” (Creswell, 2008, como se citó en Pereira, 2011, p. 20). En este orden de ideas, es conveniente destacar que la investigación con enfoque cuantitativo considera que “el conocimiento se genera a partir de un proceso deductivo en el que, a través del tratamiento numérico y el análisis estadístico inferencial, se prueban hipótesis previamente formuladas” (Universidad de Colima, 2016), con lo cual, en el presente trabajo se aborda la estadística no paramétrica. Por otro lado, como lo afirma Creswell (2003, como se citó en la Universidad de Colima, 2016), el enfoque de una investigación cualitativa busca “explorar la complejidad de factores que rodean a un fenómeno y la variedad de perspectivas y significados que tiene para los implicados”.

Es oportuno dar claridad a las variables de la investigación, donde la competencia argumentativa y la construcción de conceptos dependen la CSC integrada en el PGA (Variable interviniente).

Finalmente, considerando el desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos bioquímicos, se realizó un análisis de resultados de manera individual sin olvidar la influencia grupal que tiene el uso de las controversias en la enseñanza de las ciencias.

7.1. Población

La investigación se realizó con estudiantes del ciclo de profundización del programa de Licenciatura en Química en la Universidad Pedagógica Nacional; en el espacio académico de Sistemas bioquímicos, el cual resultó oportuno debido a que las temáticas que allí se abordan fueron acordes para la aplicación y el desarrollo de la investigación. La población es de 18 estudiantes donde sus edades oscilan entre los 20 y 26 años.

7.2. Etapas de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación, la metodología se dividió en 3 etapas, las cuales son descritas a continuación:

7.2.1. Etapa 1: Prueba diagnóstica

Con la finalidad de analizar la competencia argumentativa y los conceptos previos sobre código genético, con la que cuentan los estudiantes de la Licenciatura en Química, se realizó la aplicación de un instrumento inicial. A continuación, en la tabla 2 se describe la forma en que fue evaluada la presente etapa:

	INSTRUMENTO DE PRUEBA DIAGNÓSTICA	RESULTADOS Y ANÁLISIS
OBJETIVO	Analizar el nivel de desarrollo inicial de la competencia argumentativa con la que cuenta la población objeto de estudio y los conceptos previos sobre código genético.	Evaluar las respuestas de los estudiantes al abordar la temática del código genético y sus implicaciones, para el diseño de un programa guía de actividades bajo las CSC que desarrolle la competencia argumentativa.
METODOLOGÍA	Con base a una lectura determinada, los estudiantes deberán dar respuesta a 4 preguntas.	Se realizó la evaluación de las respuestas brindadas por cada uno de los estudiantes con el fin de categorizar a cada individuo en un nivel de argumentación teniendo en cuenta la caracterización de Tamayo (2011).

Tabla 2. Evaluación de la prueba diagnóstica.

7.2.2. Etapa 2: Diseño del programa guía de actividades (PGA)

Para llevar a cabo el diseño del programa guía de actividades, se identificaron los tres instantes necesarios para el desarrollo del PGA: inicio (prueba diagnóstica-Etapa 1), desarrollo y finalización; en los que se pretendía favorecer la competencia argumentativa en los estudiantes implicados bajo las CSC.

Se elaboraron actividades con una complejidad creciente y donde es posible evidenciar el trabajo colaborativo, con el propósito de desarrollar la competencia argumentativa, a partir de un programa guía de actividades enfocado en el

código genético y la modificación del mismo, relacionando a su vez la controversia a la que conlleva dicho tema en dirección al tratamiento de enfermedades hereditarias.

7.2.3. Etapa 3: Evaluación de la eficacia del PGA

Una vez obtenidos los resultados de la implementación del PGA, se evaluó la eficacia de la estrategia respecto al desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos bioquímicos en el marco del código genético. Lo anterior se realizó teniendo en cuenta los niveles de argumentación descritos en la tabla 1 propuestos por Tamayo (2011) y adaptados por la autora, en cada uno de los estudiantes; posteriormente se categorizó e hizo un análisis completo del desarrollo de la competencia argumentativa desde la perspectiva de la Imagen 1 propuesta por Guzmán, Flores y Tirado (2013) junto con la incidencia de las CSC en dicha competencia.

Para precisar en el programa guía, es importante resaltar que a los estudiantes que no realizaron actividades o algunas partes de estas, se les situó en el nivel 0. En la actividad 1, la segunda parte de la actividad 3, la segunda y tercera parte de la actividad 5 y la última parte de la actividad 6 y 7, se evaluaron las respuestas de los estudiantes de manera individual teniendo en cuenta el modelo de argumentación de Toulmin (2003), modelo que es integrado en los niveles de argumentación propuestos por Erduran et ál. (2004; 2008, como se citó en Tamayo, 2011) y adaptados por la autora.

La actividad 2 la cual se centraba en la elaboración de mapas conceptuales se evaluó teniendo en cuenta los criterios presentados en el marco conceptual y las categorías precisadas en la sección de análisis y resultados.

En la primera parte de la actividad 3 y 4 se dieron al estudiante fragmentos del gen mutado que provocaba la enfermedad de anemia de células falciformes en aras de abordar la controversia de la manipulación genética como tratamiento en enfermedades de este tipo, en la que debían presentar esquemas. Para los estudiantes con las representaciones realizadas de forma adecuada, se situaron en el nivel más alto, mientras que, para los estudiantes que presentaban errores se situaron en el nivel 1.

En la actividad 5, los estudiantes en la primera parte debían realizar mentefactos los cuales fueron evaluados bajo los criterios de Castellanos (2017). Dichos criterios, son especificados en la sección de análisis y resultados.

Para la primera parte de la actividad 6, los estudiantes debían afirmar o falsar 9 enunciados, si alguno de estos estaba incorrecto se situaba al estudiante en un nivel 1, mientras que, si todas las respuestas eran correctas se posicionaba en un nivel 5. En la segunda parte de la misma actividad, los estudiantes debían traducir la información genética, para lo cual se caracterizó bajo los mismos criterios de la primera parte de esta actividad.

Es pertinente resaltar el uso del software de Atlas.ti en la actividad 7, para la identificación de códigos con mayor frecuencia en las exposiciones de los estudiantes; también, se enuncia el uso de SSPS para encontrar un nivel de correlación entre los discursos de los estudiantes y los textos argumentativos de la segunda parte de la presente actividad.

Finalmente, en la prueba de cierre la cual permitió contrastar los resultados obtenidos con los iniciales, nuevamente se hizo uso de los software mencionados en el párrafo anterior y los criterios de los mapas conceptuales. Asimismo, se evaluaron los argumentos considerando los niveles de Erduran et ál. (2004; 2008, como se citó en Tamayo, 2011) con las pertinentes adaptaciones realizadas por la autora. Todo lo anterior en pro a la evaluación del desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos a partir de las CSC en el PGA diseñado.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El espacio académico de *Sistemas Bioquímicos* ofrecido por la Universidad Pedagógica Nacional en el ciclo de profundización de Licenciatura en química, pretende que el estudiante domine aspectos relacionados con el Dogma Central de la Biología Molecular y su importancia. Por consiguiente, la propuesta llevada a cabo en torno al tratamiento de enfermedades hereditarias, tales como la anemia de células falciformes, manifiesta coherencia entre las temáticas de interés y la correlación entre la construcción de conceptos bioquímicos y el desarrollo de la competencia argumentativa en la población de estudio.

A lo largo del curso se contemplan temáticas como: proteínas, enzimas, ácidos nucleicos y Dogma Central de la Biología Molecular, como ya se mencionó anteriormente; lo cual da paso al diseño de un Programa Guía de Actividades (Anexo 3) que posibilita la cualificación y cuantificación de las variables de utilidad en la presente investigación.

8.1. Prueba diagnóstica

Se realizó una prueba diagnóstica (Anexo 1) previa a la aplicación del PGA, la cual fue validada por un experto con perfil académico de Licenciado en Biología y Maestría en Educación. La validación se llevó a cabo mediante una matriz evaluativa donde el experto realizó la lectura y las preguntas asociadas a ésta, para efectuar las observaciones que se muestran en la Tabla 3.

Nº	CRITERIO	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Deficiente	OBSERVACIONES
1	Correspondencia del instrumento con los propósitos enunciados en el encabezado.			×			El instrumento está claramente orientado a recoger evidencia sobre la competencia argumentativa de los estudiantes. No obstante, creo que es necesario formular elementos complementarios a las preguntas; algunas cuestiones sociocientíficas que permitan contrastar la información del instrumento con otras fuentes.
2	Pertinencia en cada uno de los puntos.		×				El instrumento es sencillo y funcional, sin embargo, las preguntas por sí solas pueden restarle potencialidad.
3	Claridad en cada uno de los puntos.	×					El instrumento es claro, se presenta la información relevante y de manera concisa.
4	Suficiencia en cada uno de los puntos.		×				Me queda una impresión sobre las preguntas: parecen estar formuladas en un nivel descriptivo lo que limita la posibilidad de construir metacogniciones sobre la ciencia, en este caso sobre la terapia génica.
5	Tiempo de realización de la prueba.	×					
6	Otras observaciones y comentarios de quien de quien participa en el pilotaje.						

Tabla 3. Matriz evaluativa del experto.

De los 6 criterios encontrados en la matriz evaluativa, el experto no respondió al último, debido a que era un espacio para brindar observaciones puntuales que él mismo considerara pertinentes y que no eran precisadas en los ítems anteriores;

no obstante, de los 5 criterios restantes, 2 de estos fueron situados en el grado de *Excelente* efectuándose claridad en cada uno de los puntos y una buena estimación del tiempo para la realización de la prueba; otros 2 criterios, se establecieron en un grado de *Muy Bueno* con observaciones que permitieron replantear las preguntas asociadas a la lectura, con el fin de otorgarle mayor potencialidad al instrumento, contemplando a su vez el “conocimiento que los estudiantes tenían sobre sus diversos tipos de conocimientos (hechos, conceptos, procedimientos, etc.) o sobre su actividad cognitiva” (Tapia, 2005); finalmente, un criterio se ubicó en el grado a *Bueno*, allí, si bien era claro que se pretendía conocer la competencia argumentativa con la que contaba la población objeto de estudio, también se debía fortalecer la prueba de entrada con más fuentes que dilucidaran la información controversial.

Considerando las observaciones del experto, se realizaron modificaciones en las preguntas 1 y 3 del instrumento inicial, las cuales se presentan a continuación:

Pregunta 1 antes de la validación:

- ¿Qué se pretende con la implementación de la terapia genética en humanos?

Pregunta 1 después de la validación:

- ¿Qué ventajas y desventajas tendría la implementación de la terapia genética en los humanos?

Pregunta 3 antes de la validación:

- ¿Existen motivos para que un paciente acceda a la terapia genética?

Pregunta 3 después de la validación:

- Si una persona cuenta con alguna enfermedad, ¿cuáles serían los motivos para que dicho paciente acceda o no a la terapia genética?

Para las dos preguntas que fueron modificadas, se pretendía que los estudiantes reflexionaran en torno a los beneficios y las complicaciones de la terapia genética haciendo uso de la contraargumentación; igualmente, los evaluados podrían elaborar respuestas desde ejemplos de estudios de caso o experiencias cercanas.

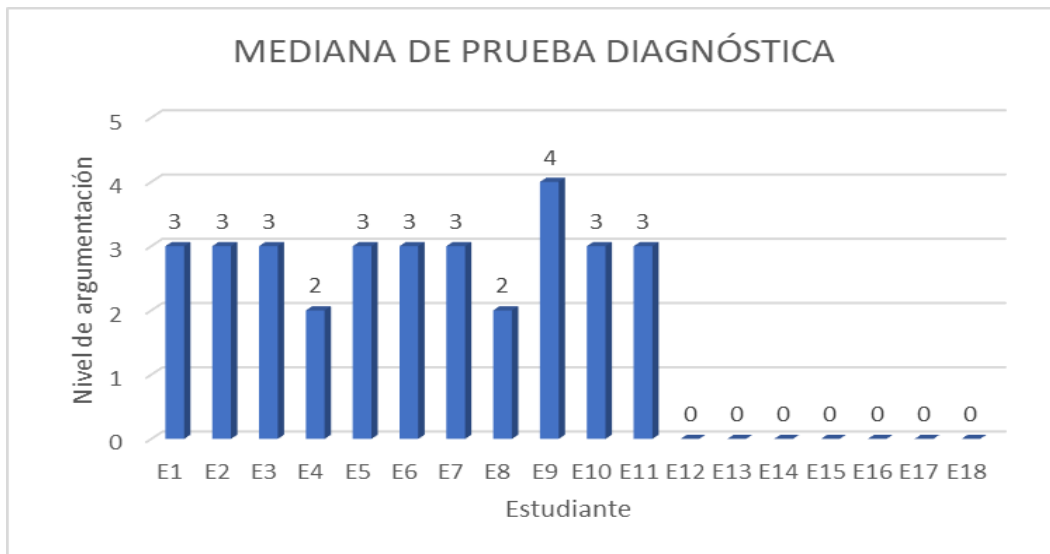
De este modo, con un enfoque mixto y una estadística inferencial no paramétrica se aplicó la prueba diagnóstica a una población menor a 30 sujetos, en la que 18 estudiantes respondieron a cuatro preguntas en torno a una lectura de modificación genética (Anexo 1) que permitió categorizarlos en los niveles de argumentación planteados por Erduran et ál. (2004; 2008, como se citó en Tamayo, 2011), los cuales integran el modelo propuesto por Toulmin (2003) y expuesto en su obra *Los usos de la argumentación*.

Dichos niveles de argumentación fueron adaptados bajo la necesidad de la presente investigación como se muestra en la Tabla 4, particularmente se realiza el cambio en el primer nivel de argumentación donde no hay relación entre la pregunta y la respuesta dada por el estudiante y; con el fin de tener en cuenta a todos los estudiantes del espacio académico de *Sistemas Bioquímicos*, se establece un nivel de argumentación 0 para los que no respondieron a las preguntas, pruebas o actividades aplicadas.

Niveles argumentativos	Características
Nivel 0	No respondió
Nivel 1	No hay relación entre los datos (D) y las conclusiones (C).
Nivel 2	Comprende argumentos en los que se identifica con claridad los datos (D) y una conclusión (C).
Nivel 3	Comprenden argumentos en los cuales se identifican con claridad los datos (D), conclusiones (C) y justificación (G).
Nivel 4	Comprende argumentos constituidos por datos (D), conclusiones (C), justificaciones (G) y refutaciones (E), haciendo uso de cualificadores modales (M).
Nivel 5	Comprende argumentos constituidos por datos (D), conclusiones (C), justificaciones (G), refutaciones (E) y fundamentos (R), haciendo uso de cualificadores modales (M).

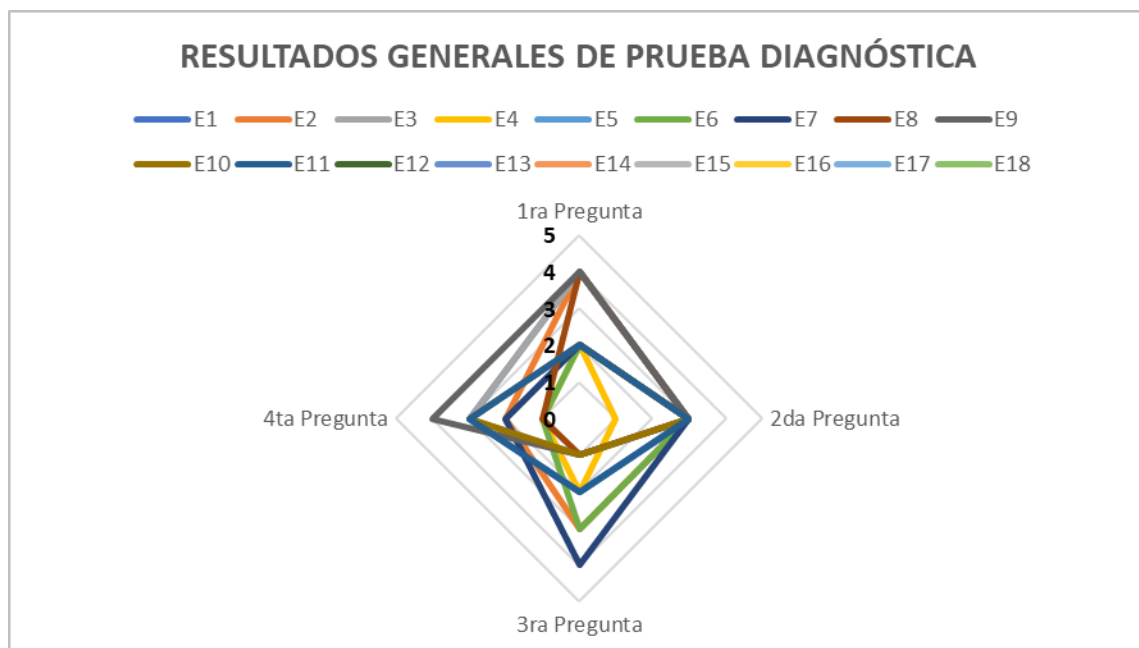
Tabla 4. Niveles de argumentación. Tomado y adaptado de Tamayo Álzate (2011).

Las preguntas del instrumento inicial fueron analizadas de manera individual, por ende, por estudiante se determinaron 4 niveles de argumentación que facilitaron la cuantificación final, obtenida mediante el cálculo del promedio estadístico de los niveles previamente identificados, como se muestra en el Anexo 2. Según la mediana (gráfica 1), se contempla que 7 de 18 estudiantes no presentaron la prueba diagnóstica y, por ende se categorizaron en el nivel más bajo; consecutivamente y teniendo en cuenta los elementos de la argumentación presentados en la tabla 4, se pueden reconocer 2 estudiantes que se ubican en el nivel de argumentación 2; en el siguiente nivel de se sitúan a 8 estudiantes donde, se les atribuye el uso de datos y conclusiones y, a diferencia del nivel 2 presentan el uso de justificaciones; para el nivel de argumentación 4, como el nivel más alto alcanzado por los estudiantes en la prueba inicial, se comprende a un solo estudiante debido al uso de refutaciones y cualificadores modales en sus respuestas.



Gráfica 1. Mediana de resultados en el instrumento inicial. Fuente: Autora

Se realizó un gráfico radial considerando las 4 respuestas de los estudiantes (Gráfico 2), el cual permitió comparar los niveles argumentativos de los estudiantes en cada pregunta para así evidenciar las variaciones más significativas entre estos. La notación E1, E2, E3, etc., se refiere al número del estudiante; los extremos, indican las preguntas abiertas del instrumento aplicado y; en el centro del gráfico, de adentro hacia afuera, se indican los niveles de argumentación (Tabla 4) de manera creciente en los cuales fueron categorizados los estudiantes.



Gráfica 2. Resultados instrumento inicial. Fuente: Autora

En cada respuesta dada por los estudiantes, se realizó un análisis holístico bajo el modelo de Toulmin (2003), integrado por Tamayo (2011) y adaptado por la Autora. Para esto se llevaron los resultados de los estudiantes al software de *ATLAS.ti*, lo cual permitió la construcción de redes semánticas que dieran cuenta de los elementos implícitamente abordados por los estudiantes. En el software, se crearon los grupos de códigos que pertenecían a las categorías de interés, tales como lo son el nivel de argumentación. A los grupos se les adjudicó los códigos como los elementos primordiales de la argumentación según los autores ya citados en el presente párrafo. Lo anterior se agrupa en la Tabla 5.

Grupo de códigos	Códigos
Nivel de argumentación 0	Ninguno
Nivel de argumentación 1	Dato
Nivel de argumentación 2	Dato
	Conclusión
Nivel de argumentación 3	Dato
	Justificación
	Conclusión
Nivel de argumentación 4	Dato
	Justificación
	Conclusión
	Refutaciones
	Cualificadores Modales
Nivel de argumentación 5	Dato
	Justificación
	Fundamento teórico
	Conclusión
	Refutaciones

Tabla 5. Datos integrados a ATLAS.ti. Fuente: Autora

Inmediatamente se presentan como muestra los resultados del E7 y E11. Estos cuentan en la primera, segunda y cuarta pregunta con niveles de argumentación entre 2 y 3, en donde el nivel 2 presenta únicamente datos y conclusiones; mientras que, el nivel 3 exhibe la presencia de las cualidades del segundo nivel de argumentación, junto con justificaciones del fenómeno en cuestión (Tamayo, 2011). Sin embargo, el E7 difiere en la tercera pregunta, debido a que muestra manejo de la refutación y los cualificadores modales en su descripción como elemento indispensable para categorizarlo en el nivel 4 de argumentación, lo cual hace posible distinguirlo en el gráfico 2 con respecto a toda la población.

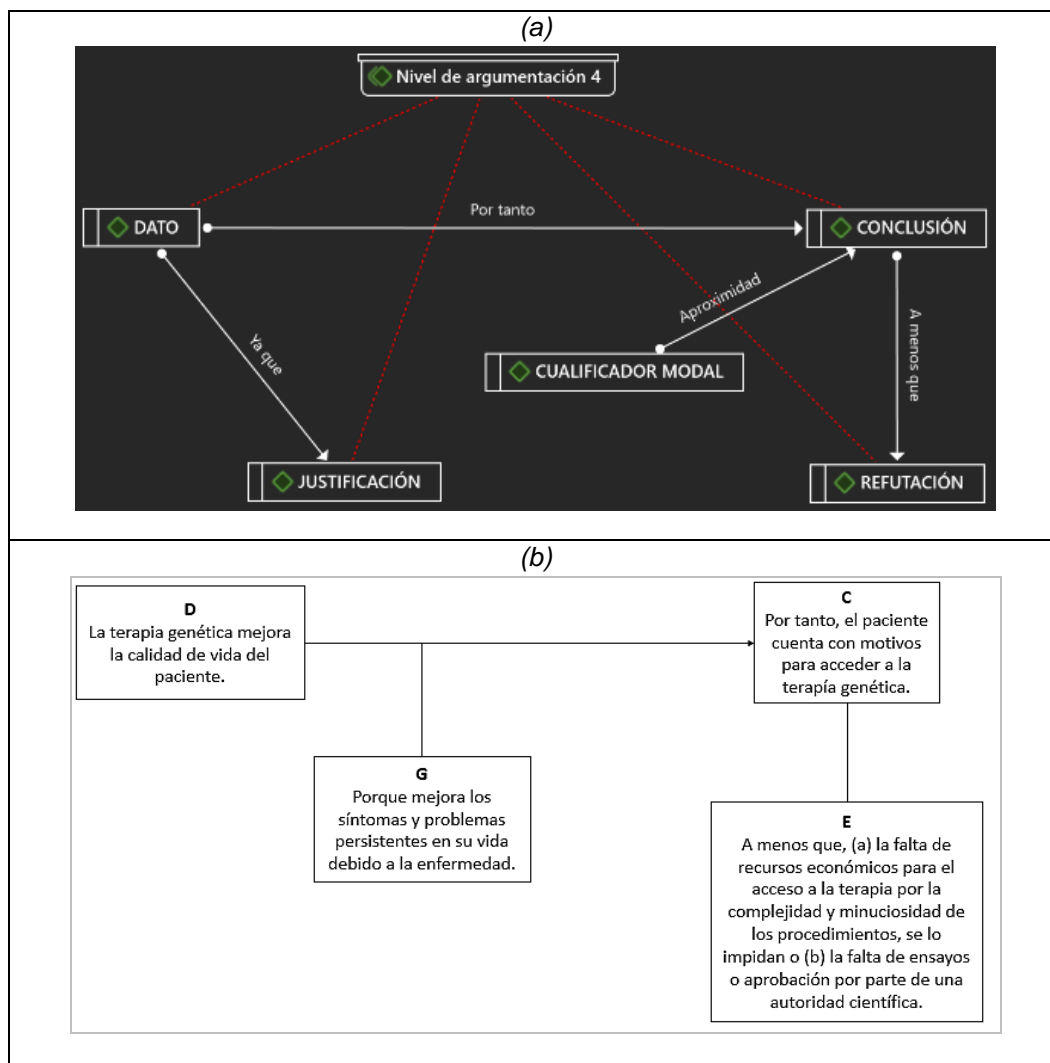


Imagen 9. Resultados del E7. Pregunta 3. Prueba diagnóstica

Nota: La Imagen 9. (a) y muestra la red semántica construida a partir de ATLAS.ti, en la que se indican los elementos que conciernen al nivel de argumentación 4, lo cual termina siendo una representación del modelo propuesto por Toulmin (2003). La Imagen 9. (b) detalla la respuesta dada por el E7 en la pregunta 3, bajo el mismo modelo.

En este sentido, el estudiante 7 parte del dato de que *la terapia genética mejora la calidad de vida de los pacientes* (Imagen 9. (b)); justificando desde la sintomatología y los problemas persistentes del día a día del afectado; para concluir, que hay motivos para una intervención de tipo terapéutico en el ADN. Asimismo, se identifica el uso de refutaciones y cualificadores modales que precisan en las limitaciones con las que cuenta el paciente para que éste acceda al tratamiento de la terapia genética.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece para el E7 un nivel 4 (Imagen 9. (a)) en el que se asocia a la competencia argumentativa descrita por Guzmán-Cedillo, Flores-Macías, & Tirado-Segura (2013). Donde dicha competencia integra conocimientos, habilidades y actitudes. Para el estudiante 7 se considera: (a)

conocimientos, ya que hay un manejo de conceptos disciplinares y un buen uso del lenguaje, destacando también la carencia de fundamentación teórica como evidencia de lo que se pretende argumentar; (b) habilidades, teniendo en cuenta que se realiza un análisis de la evidencia encontrada en la lectura para la respuesta y del mismo modo una elaboración y organización de ideas que favorece la presencia de contraargumentos y refutaciones y; (c) actitudes, por considerar puntos de vista alternos a partir de las limitaciones.

Ahora bien, si se analiza al estudiante 11, este al igual que el estudiante 7 cuenta con una mediana de nivel de argumentación 3, como se evidencia en la gráfica 1. Sin embargo, estos presentan diferencia en la pregunta 3, pues el E11 exhibe un nivel más bajo en comparación con el E7, lo cual indica que hay variación en la construcción de argumentos y; que, asimismo, al hacer uso de la prueba estadística de *Mediana* integrando las respuestas del instrumento, existe una aproximación entre cada uno de los niveles de argumentación determinados.

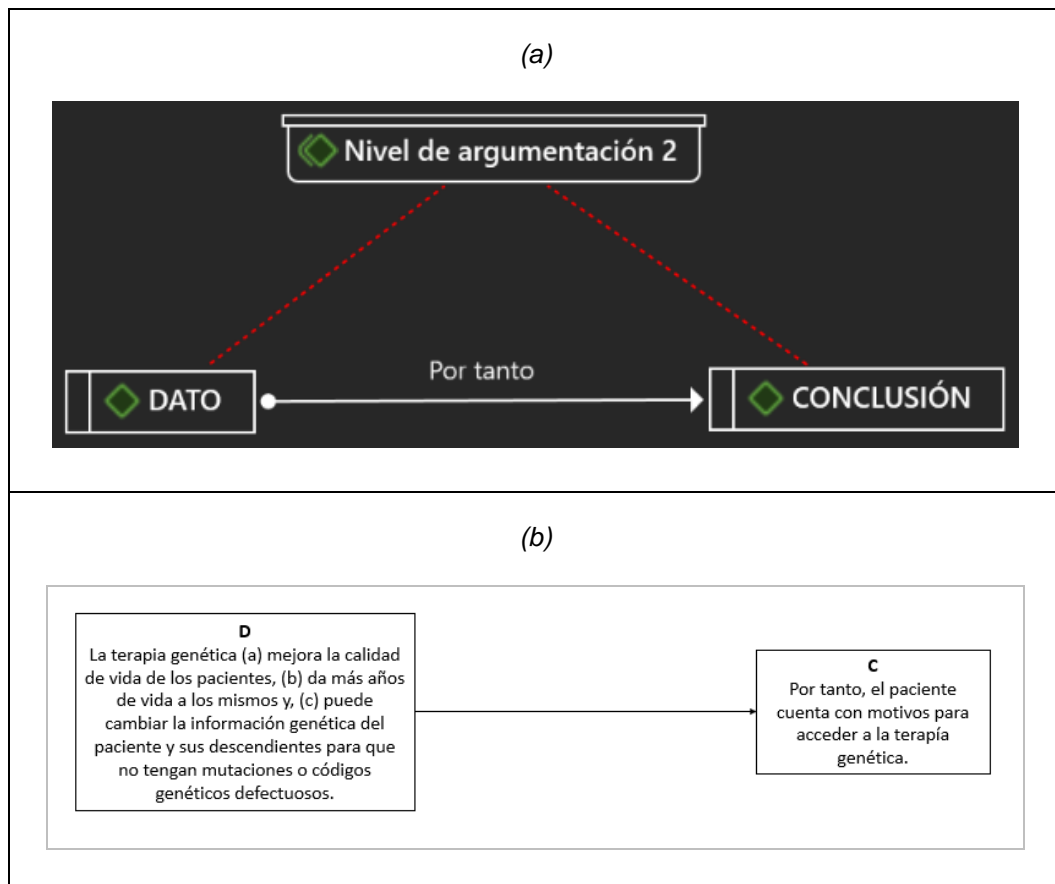


Imagen 10. Resultados del E11. Pregunta 3. Prueba diagnóstica

Nota: La Imagen 10. (a) muestra la red semántica construida a partir de ATLAS.ti, en la que se indican los elementos que conciernen al nivel de argumentación 2, lo cual termina siendo una representación del modelo propuesto por Toulmin (2003). La Imagen 10. (b) detalla la respuesta dada por el E11 en la pregunta 3, bajo el mismo modelo.

La Imagen 10 (a) expone la red semántica construida en *ATLAS.ti* para el nivel de argumentación 2, la cual muestra la presencia únicamente de Datos y Conclusiones. Por tanto, si se precisa en los resultados del E11 (Imagen 10 (b)), se observa la presencia de datos como: *La terapia genética mejora la calidad de vida de los pacientes, prolonga su vida y erradica la enfermedad de los descendientes de estos*. Sin embargo, el E11 no da razones que justifiquen la información brindada lo que a su vez desdibuja “la impetuosidad del contenido argumentado ya que este depende de la fuerza de la justificación, de las razones y de los datos disponibles” (Toilmin, 2003), lo que conlleva a enunciar la conclusión sin más elementos que den solidez a la argumentación.

La competencia argumentativa y sus tres principios integrados (conocimientos, habilidades y actitudes) destacan en el E11 la falta de, (a) conocimientos, dado que el estudiante no presenta uso de justificaciones en su respuesta que denoten un manejo disciplinar articulado a un contexto, lo cual es preciso en la argumentación (Ruiz y Dússan, 2021); (b) habilidades, pues no se manifiesta una posición, con el uso de contraargumentos y refutaciones y; (c) actitudes que muestren consideraciones de puntos de vista alternos y una postura en desacuerdo o acuerdo.

Considerando todo lo mencionado, resultó oportuno contrastar a estudiantes que cuentan con la misma mediana de nivel de argumentación en la aplicación del instrumento de prueba y que a su vez en sus respuestas particulares presentan diferencias. Los estudiantes 7 y 11 permitieron dilucidar las características que fueron tenidas en cuenta en los análisis de toda la población para su respectiva categorización.

Por otro lado, se identifica a un estudiante (E4) que presentó la prueba y cuenta con niveles de argumentación 1 y 2 en todas sus respuestas. Donde, el nivel 1 se debe a la incongruencia entre la pregunta y la respuesta ó la falta de datos que conlleven a una conclusión. Igualmente, el segundo nivel de argumentación es “esencialmente débil en este estudiante, ya que no hay ningún intento de refutación que permita generar una justificación” (Erduran, Simon, y Osborne, 2004) y por tanto categorizarlo en un mejor nivel.

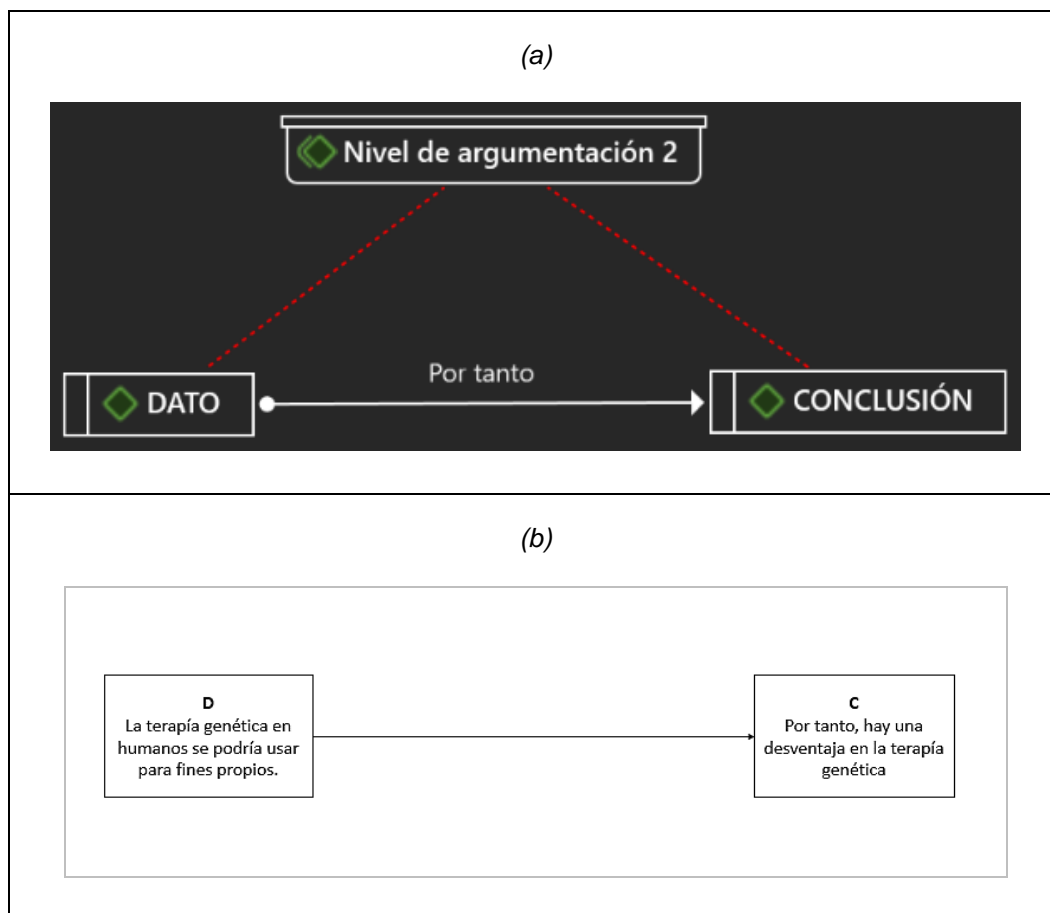


Imagen 11. Resultados del E4. Pregunta 1. Prueba diagnóstica

Nota: La Imagen 11. (a) muestra la red semántica construida a partir de ATLAS.ti, en la que se indican los elementos que conciernen al nivel de argumentación 2, lo cual termina siendo una representación del modelo propuesto por Toulmin (2003). La Imagen 11. (b) detalla las respuestas dadas por el E4 en la pregunta 1, bajo el mismo modelo.

Si se detalla en la respuesta de la primera pregunta del E4 (Imagen 11 (b)), se evidencia que el estudiante comprende una desventaja de la terapia genética desde la controversia del uso de esta para fines propios; lo anterior, como único dato y conclusión, lo cual lo sitúa en el nivel de argumentación 2 (Imagen 11 (a)).

Bajo el análisis de la competencia argumentativa expuesta por Guzmán-Cedillo & Flores (2012), para el E4, se determina la carencia de (a) conocimientos disciplinares, pero se destacan (b) habilidades y (c) actitudes desde una postura crítica al considerar una desventaja el uso de la terapia genética con fines propios. Así, la afirmación sociocientífica de la que parte el estudiante evidencia la ausencia de fundamentos o garantías que favorezcan el uso de contraargumentaciones y evidencias que a su vez propician la mejora en la construcción y relación de conocimientos. Por lo que, la respuesta dilucida la falta de habilidades y actitudes argumentativas integradas en el conocimiento disciplinar.

Seguidamente, para la respuesta de la pregunta 2 del estudiante 4 (Imagen 12 (a)), se denotan la falta de datos y la poca relación que hay entre la pregunta, la respuesta y la lectura dada, por ende, se ubica en un nivel de argumentación 1 (Imagen 12 (b)).

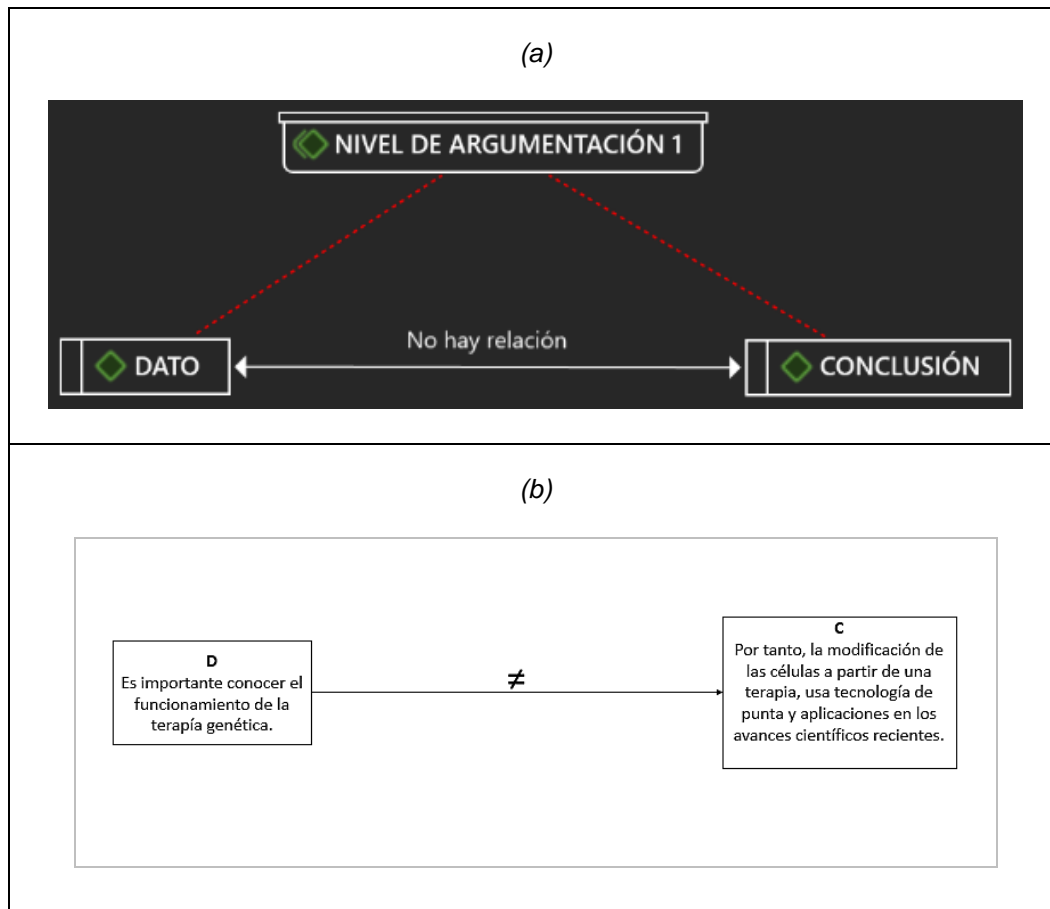


Imagen 12. Resultados del E4. Pregunta 2. Prueba diagnóstica

Nota: La Imagen 12. (a) muestra la red semántica construida a partir de ATLAS.ti, en la que se indican los elementos que conciernen al nivel de argumentación 1, lo cual termina siendo una representación del modelo propuesto por Toulmin (2003). La Imagen 12. (b) detalla la respuesta dada por el E4 en la pregunta 2, bajo el mismo modelo.

El estudiante 4 expresa la importancia de conocer cómo funciona la terapia genética pero no alude en su respuesta las diferentes técnicas que se aplican en el tratamiento y las cuales se enuncian en la lectura del instrumento, por ende se establece que no hay relación de los 3 principios de la competencia argumentativa, donde no se resalta un conocimiento disciplinar; una habilidad en la que se muestren evidencias, contraargumentos y elaboración y organización de ideas y; por tanto, no es posible destacar el principio de actitud en el que se presenta un compromiso o una postura en acuerdo o desacuerdo del estudiante.

Una vez obtenidos los resultados de los estudiantes en la prueba diagnóstica, se elaboró y aplicó un PGA (Anexo 3) enmarcado en la controversia de la

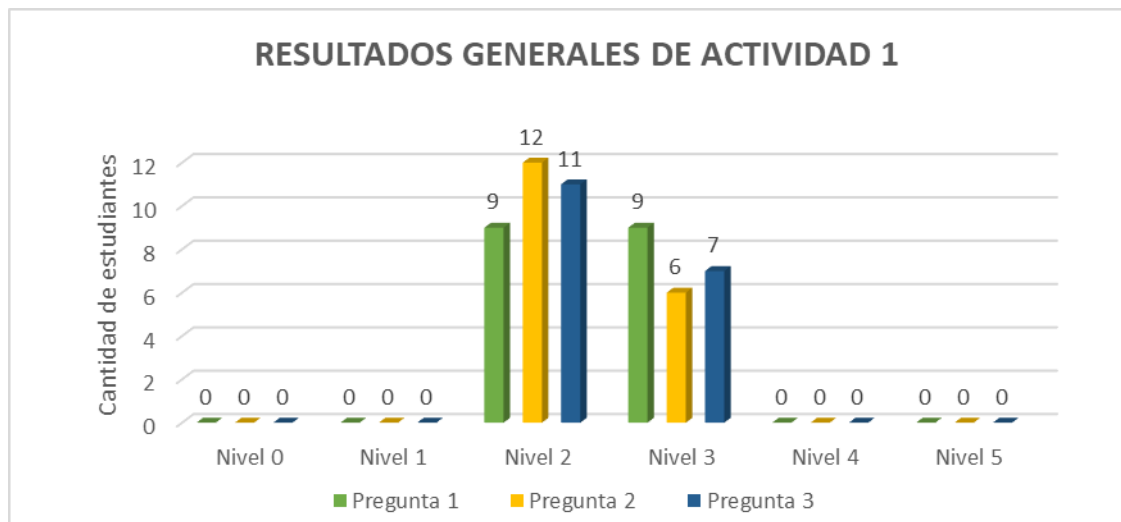
manipulación genética, el cual buscaba desarrollar la competencia argumentativa en los estudiantes toda vez que se dieran herramientas conceptuales que les permitieran también potencializar habilidades y actitudes.

8.2. Programa Guía de Actividades (PGA)

Una vez evaluada la prueba diagnóstica para reconocer el nivel inicial de la competencia argumentativa con la que contaba la población objeto de estudio, se da inicio al análisis de los resultados obtenidos de la aplicación del Programa Guía de Actividades (Anexo 3).

8.2.1. Actividad 1: Lectura de la historia de los ácidos nucleicos

En la actividad 1, se realizó la lectura de Fruton & MacElroy (1975, como se citó en Karp & van der Geer, 2006) de los periodos en los que el ADN ha tenido aportes o cambios paradigmáticos que han contribuido de manera sociocientífica. Posteriormente, los estudiantes debían responder a 3 preguntas argumentando cada una de ellas. En el Gráfico 3 se encuentran agrupados los resultados y se evidencia que ningún estudiante superó el nivel argumentación 3, lo cual implica el uso de datos, justificaciones y conclusiones en las respuestas dadas por los mismo.



Gráfica 3. Resultados generales actividad 1. Fuente: Autora

Los 18 estudiantes desarrollaron las 3 preguntas que encerraban a la actividad 1, por lo que no se ubicó a ninguno en el nivel de argumentación 0; asimismo, en el nivel 1, no se sitúa a ninguno puesto que en todos los casos se identificó la articulación de la lectura en las respuestas dadas, expresando también, suficiencia de datos. Ya para el nivel 2 de argumentación, es notoria una mayor frecuencia en las tres preguntas de la actividad debido a la construcción de argumentos ligados a datos injustificados pero concluidos; del mismo modo, si se observa en la gráfica 3, el nivel 3 agrupa a 9, 7 y 6 estudiantes en la pregunta 1, 2 y 3 respectivamente,

los cuales fueron capaces de dar razón del dato del que partían. Ultimadamente, se observa la carencia de elementos pertenecientes al nivel 4 y 5 de argumentación.

Como ejemplo, se muestran las respuestas del E3 en las cuales se presenta un nivel de argumentación 3. Allí, se parte de una afirmación o también denominada *dato*, donde este es justificado, ya que el estudiante da las razones que explican el fenómeno estudiado, pues incluir justificaciones en los argumentos supone adquirir el compromiso de explicitar el paso de los datos a la conclusión (Tamayo, 2011):

- En la pregunta 1, el estudiante 3 parte de los datos de que: *“... el ADN cumple la función de transportar información genética y replicación del mismo que conlleva a un fenotipo específico de una célula en particular...”*; Justificando que, *“... a partir del ARN se realiza una transcripción del ADN para luego poderse traducir a un tipo de lenguaje de aminoácidos de proteínas, y cumplen la función de re transcribir o transcribir a la inversa las moléculas de ADN cuando estas son degradadas o modificadas”*; y, Concluyendo que, *“... es de vital importancia para el ser humano el entendimiento del ADN”*.

El uso de justificaciones en el nivel 3, es lo que lo diferencia del nivel 2, por ende, las razones que le dan solidez al dato del que parte el estudiante deben estar plenamente identificadas. Para esta respuesta, se logra justificar desde el funcionamiento de los ácidos nucleicos en la síntesis de proteínas o enzimas que posibilitan la replicación del ADN como transporte de información genética.

- En la pregunta 2, el estudiante inicia con el siguiente dato: *“Desde sus inicios atribuían los procesos orgánicos a los complejas y largas cadenas de proteínas por simplemente ser un gran conglomerado de aminoácidos, es aquí que reconocer al ADN como el responsable de la Replicación de información genética y de la misma molécula, al igual que el ARN para la reconstrucción de la molécula del ADN cuando sufre alteraciones, es el primer paso para generar un enfoque y realizar la experimentación y estudios adecuados para enfocarse y profundizar en lo que en su momento no tenía un objeto de estudio determinado...”*; Justificación: *“Ya que, a nivel orgánico tanto el ADN con el ARN cumple una función importante en los organismos y es a lo que nosotros denominamos “sanar”, el poder crear, duplicar o generar nuevas moléculas, células especializadas en algún proceso orgánico que, hasta la fecha, es prácticamente imposible para la mano humana.”*; Concluyendo que, evidentemente es importante entender los ácidos nucleicos para comprender en su totalidad el organismo humano.

La justificación en esta pregunta pretende explicitar la importancia del funcionamiento del ADN como polímero constituyente de la información genética, y no las proteínas; pues este ácido nucleico tiene la capacidad de replicarse y “sanarse”.

- En la pregunta 3, el estudiante debía indicar los mayores aportes en las tres diferentes épocas expuestas en la lectura, donde nuevamente hace uso de Datos, conclusiones y explicaciones, que lo posicionan en un nivel de argumentación 3. A continuación se presenta un periodo que demuestre lo anteriormente mencionado: Datos, “...*el ADN puede transportar información genética y replicarse así mismo*”; Justificación: “... *se halla un objeto de estudio, identificando ciertas anomalías en el ADN que son enfermedades que pueden replicarse de manera tan exponencial.*”; Conclusiones: “...*Este fue el inicio de una rama de la bioquímica fundamental*”

El estudiante justifica a partir del reconocimiento del genoma humano, donde se presentan irregularidades que resultan siendo características de enfermedades, con lo cual se explica la replicación de las enfermedades de manera hereditaria.

De esta manera la lectura da paso para el abordaje de las cuestiones controversiales para el tratamiento de tales enfermedades a partir de la modificación genética de forma creciente en la estructura del PGA.

En este sentido, es posible reconocer que el estudiante elabora datos, conclusiones y justificaciones, no obstante, en la competencia argumentativa es pertinente detallar en las “habilidades (saber hacer); conocimientos (saber saber) y; actitudes (saber ser y convivir) para evidenciar un desempeño eficiente de un argumento dialógico” (Guzmán-Cedillo, Flores-Macías, & Tirado-Segura, 2013) que, el estudiante 3 no se muestran en su totalidad, debido a que si bien se denotan conocimientos desde el manejo de conceptos disciplinarios y un buen uso del lenguaje, se desvinculan habilidades como: enunciar una posición, presentar contrargumentos y refutaciones y, análisis de la evidencia que permite a su vez, dar cuenta de la carencia de actitudes que se comprenden la competencia argumentativa. Lo cual es congruente con el nivel en el cual fue categorizado.

También se presentan las respuestas del E15, en el que se categorizan las 3 preguntas en un nivel de argumentación 2; en el cual, se deben identificar datos y conclusiones estableciendo diferencias entre estos y a su vez relaciones, causales o no (Tamayo, 2011):

- En la pregunta 1, el E15 enuncia Datos en torno al ADN con la afirmación de que: “... *El ADN es un ácido nucleico que cumple funciones específicas en diferentes organelos de las células ...*” y; Concluyen que, “... *el ADN es importante para el ser humano.*”

Si bien el estudiante data y concluyen, también se establece relación de la importancia del ADN en el organismo debido a sus diferentes funciones intracelular.

- En la pregunta 2, se parte del Dato de: *“Debido a los estudios que se han realizado en el ADN y ARN, son importantes enviando la información a través de la célula para que hagan replicación de material genético...”*; Concluyendo que, *“... su importancia radica a nivel general pues se han llegado a realizar análisis también de la infección de células con el ADN de un virus.”*

El estudiante hace relaciones causales debido que, según datos y conclusiones, sin el estudio de ADN y ARN no se habría enmarcado la infección de células con virus.

- En la pregunta 3, se presentan los aportes más relevantes en un único periodo. Datos, *“...En el segundo periodo, se hacen estudios de las implicaciones del ADN en cuanto a la información genética que puede transportar y la manera en la que hace su propia replicación.”*; Conclusiones: *“...con lo que se da paso a la manipulación de la genética”*

Aquí la respuesta del estudiante integra la comprensión del dogma central de la biología molecular con la trascendencia de la manipulación genética en humanos.

De tal modo que, se evidencian datos y conclusiones que hacen uso de la lectura principal de la actividad de manera sencilla; también se resalta que, el estudiante excluye los principios de la argumentación tales como: justificación, refutación, fundamento teórico y cualificadores modales (Toilmin, 2003), lo cuales enmarcan la controversia de la manipulación genética.

Las respuestas del estudiante 15 analizadas bajo la competencia argumentativa permite establecer la insuficiencia de (a) conocimientos, donde si bien hay una relación e identificación de la importancia del ADN, el estudiante no relaciona los nuevos conceptos que justifican por si solos los datos expresados en las respuestas; (b) habilidades en el marco de la ausencia de contraargumentos y refutaciones y; (c) actitudes por no manifestar una postura crítica frente a las respuestas.

Con los resultados obtenidos en la actividad 1, es oportuno aludir que los estudiantes situados en un nivel 1 de argumentación en la prueba inicial, lograron aumentar su capacidad de construcción de argumentos. Sin embargo, esto se siguió analizando en la actividad 2.

8.2.2. Actividad 2: Mapa conceptual

Justo después de la aplicación de la actividad 1, se llevó a cabo la primera intervención en el aula de clase en la que se abordaron los elementos básicos de los ácidos nucleicos y las diferencias entre éstos, los cuales se presentan en la primera unidad del Anexo 3, p. 106. En virtud de desarrollar la competencia argumentativa y brindarles herramientas conceptuales a los estudiantes, es imprescindible analizar a su vez la construcción y relación de conceptos, lo cual se pretendió analizar inicialmente en la actividad 2. Dicha actividad, se centró en la elaboración de un mapa conceptual haciendo uso de una determinada lista de conceptos (desoxirribosa, nucleótido, azúcar, fosfato, ADN, base nitrogenada, ribosa, púrica, ARN y pirimidica), aunque, el estudiante también podía adicionar tantos conceptos como fueran necesarios.

Como afirma Costamagna (2001)

“El aprendizaje será más o menos significativo según el grado de desarrollo de los conceptos preexistentes relacionados con lo que se va a aprender y con el esfuerzo que se realice para asociar el nuevo material con lo que ya se sabe... Por tanto, desde la óptica de un modelo constructivista y poniendo énfasis en el aprendizaje significativo, los mapas conceptuales constituyen una herramienta eficaz para la optimización de los procesos de enseñanza-aprendizaje. (pág. 310)

Por consiguiente, los mapas conceptuales reconocieron los niveles de estructura cognitiva compleja con la que cuentan los estudiantes, la cual se evalúa mediante la matriz expuesta por Rodríguez (2017) (Tabla 6), la cual adapta criterios mencionados por Novak y Gowin (1994) que son destacados en el marco teórico de la presente investigación.

De conformidad, en la Tabla 7 se presentan los rangos establecidos por Rodríguez (2017) enmarcados en una categorización presentada como: Muy Deficiente (M.D.), Insuficiente (I), Suficiente (S), Bien (B), Notable (N), Excelente (E).

CATEGORÍA	PUNTAJE
Número de conceptos propuestos utilizados (NCPU)	NCPU*2 (P1)
Número de conceptos propuestos válidos (NCPV)	NCPV*4 (P2)
Valoración jerárquica (VJ)	VJ*1 (P3)
Número de proposiciones válidas (NPV)	NPV*4 (P4)
Número de relaciones cruzadas válidas (NRCV)	NRCV*4 (P5)
Número de conceptos nuevos válidos (NCNV)	NCNV*2 (P6)
Número de proposiciones erradas (NPE)	NPE*-4 (P7)
Puntaje total (PT)	PT = ΣP_n
Puntaje total de referencia (PTR)	PTR
Valoración (V)	V = PT*10/PTR
Valoración asignado según rango (VA)	VA

Tabla 6. Matriz para la evaluación de mapas conceptuales. Fuente: Rodríguez (2017)

RANGO VALORACIÓN (V)	SÍMBOLO	VALOR ASIGNADO (VA)
0,0 a 2,0	M.D.	0
2,1 a 4,9	I	1
5,0 a 5,9	S	2
6,0 a 6,9	B	3
7,0 a 8,4	N	4
8,5 en adelante	E	5

Tabla 7. Categorización de resultados de mapas conceptuales. Fuente: Rodríguez (2017)

Para poder llevar a cabo la matriz expuesta, fue necesario desarrollar un mapa conceptual referencial en el que se tuvieron en cuenta todos los conceptos proporcionados a los estudiantes. En la Imagen 13, se presenta un mapa con jerarquía, proposiciones, relaciones cruzadas y uso de conceptos nuevos válidos y vistos en clase.

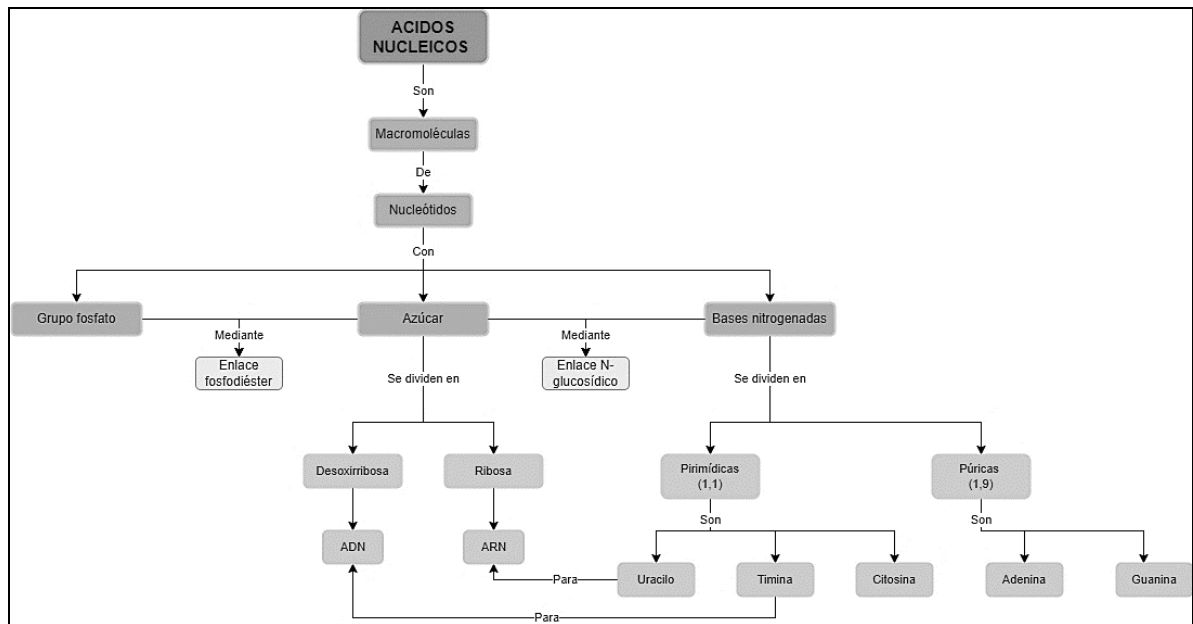
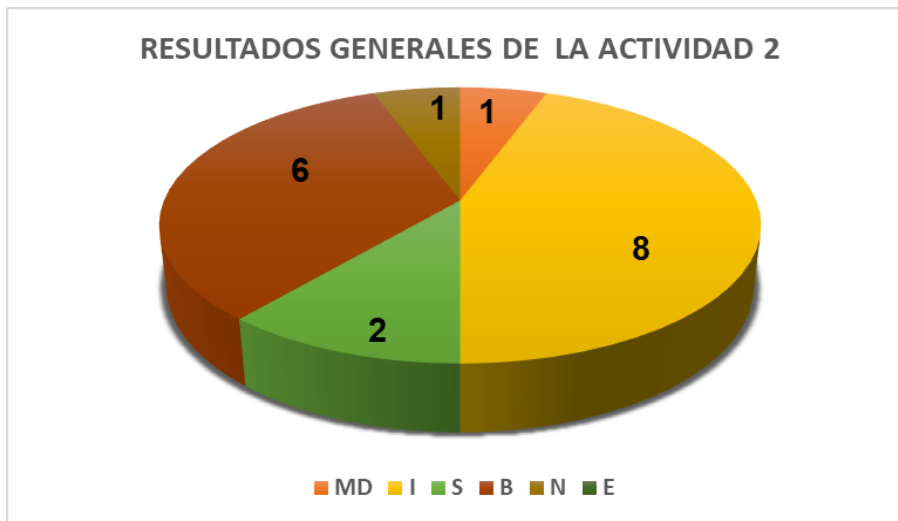


Imagen 13. Mapa conceptual referencial. Actividad 2. Fuente: Autora

Los resultados de los mapas conceptuales elaborados por los estudiantes, obtenidos y presentados en la gráfica 4, muestran que 8 de 18 estudiantes se encuentran en el rango de *Insuficiente* y seguidamente se observa que 5 se sitúan en un grado de *Bien*. Los errores encontrados frente a la relación de conceptos y la construcción de los mismos pretendían ser abordadas y reforzadas a lo largo de la aplicación del PGA.



Gráfica 4. Resultados de la evaluación del mapa conceptual. Fuente: Autora

Posteriormente, se presenta el mapa conceptual del estudiante 8 (Imagen 14); allí, en la estructura se evidencia que no hay un manejo jerárquico donde se muestre que “los conceptos más generales e inclusivos estén situados en la parte superior del mapa y los conceptos progresivamente más específicos y menos inclusivos, en la inferior” (Novak & Gowin, 1988); del mismo modo, las proposiciones se observan en dos situaciones que si bien, precisa que los ácidos nucleicos tienen en su estructura bases nitrogenadas, estos a su vez también contienen un grupo fosfato y su azúcar distintivo, como se socializó en la respectiva intervención y se precisa en el PGA.

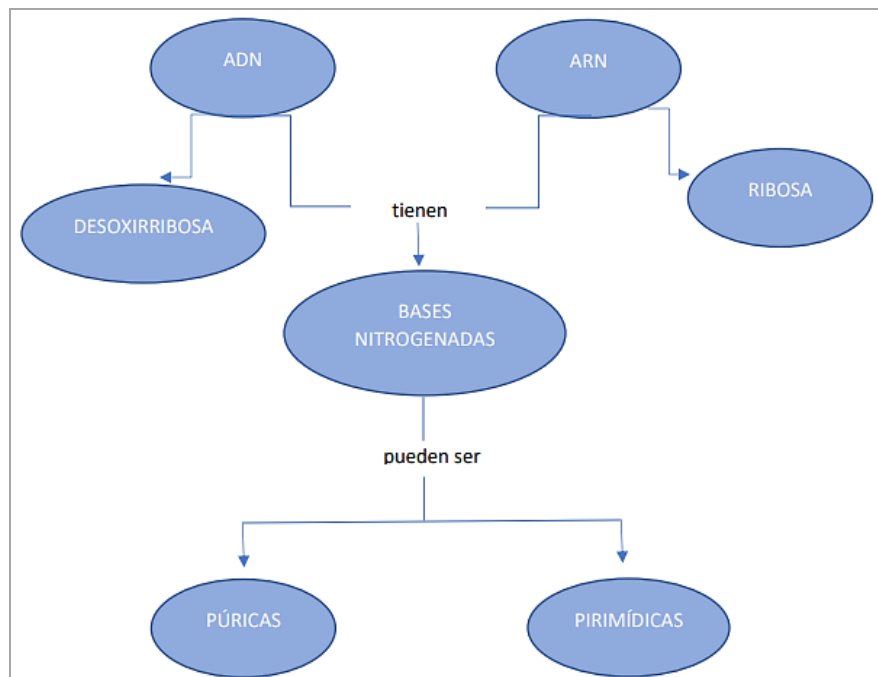


Imagen 14. Mapa conceptual del E8. Actividad 2.

Lo anterior, permite evaluar al estudiante 8 bajo la matriz ya mencionada (Tabla 8), dicha evaluación se detalla a continuación:

- NCPU: El valor de este criterio es igual a 7 ya que el estudiante no hizo uso de los conceptos: nucleótido, azúcar y fosfato.
- NCPV: La ubicación acertada en la estructura jerárquica se les otorga a los conceptos de ADN, ARN, bases nitrogenadas, púricas y pirimídica, por su orden deductivo y el uso de proposiciones entre estos que le dan sentido y dirección a la herramienta metacognitiva. Se desprecian los conceptos restantes debido a que no hay un manejo adecuado de jerarquía ni proposiciones que permitan dar lectura al mapa conceptual.
- VJ: En la elaboración correcta del mapa se le da una valoración de 2.
- NPV: Se tienen en cuenta las dos únicas proposiciones que usa el estudiante, las cuales aclaran el sentido y relación entre los conceptos.
- NRCV: No se evidencian relaciones cruzadas y por tanto su valor es 0.
- NCNV: No se evidencian nuevos conceptos propuestos por el estudiante y por tanto su valor es 0.
- NPE: No se evidencian proposiciones erradas y por tanto su valor es 0.

ESTUDIANTE 8	
CATEGORÍA	PUNTAJE
Número de conceptos propuestos utilizados (NCPU)	14
Número de conceptos propuestos válidos (NCPV)	20
Valoración jerárquica (VJ)	2
Número de proposiciones válidas (NPV)	8
Número de relaciones cruzadas válidas (NRCV)	0
Número de conceptos nuevos válidos (NCNV)	0
Número de proposiciones erradas (NPE)	0
Puntaje total (PT)	44
Puntaje total de referencia (PTR)	143
Valoración (V)	3,1
Valoración asignado según rango (VA)	1,5

Tabla 8. Matriz evaluativa del mapa conceptual del E8

De conformidad, en los resultados para el E8 es posible dilucidar que su resultado es de 1,5, lo cual lo ubica en el nivel *Insuficiente*, como permite categorizarlo nuevamente Rodríguez (2017, pág. 220). Esto, es congruente con el mapa conceptual presentado por el estudiante y sus errores encontrados.

Ahora bien, el mapa conceptual del estudiante 2 (Imagen 15) es pertinente diferenciarlo frente al E8. Inicialmente, a nivel estructural, el uso de proposiciones forma unidades semánticas que dan un sentido (Novak & Gowin, 1988); también,

se observa una jerarquización y relación con mayor número de conceptos; sin embargo, se carece de flechas que le den dirección al mapa conceptual

A nivel conceptual, tanto el ADN como el ARN están formados por nucleótidos donde estos a su vez contienen bases nitrogenadas, grupo fosfato y azúcar; la distinción entre estos ácidos nucleicos está dada por el azúcar y una base nitrogenada: la desoxirribosa y la timina para ADN y ribosa y el uracilo para ARN. Con lo cual el ADN y el ARN deberían estar situados en el mismo nivel jerárquico con relación a su estructura monómera: los nucleótidos (Martínez-Frías, 2010). Lo anterior, debido a que, en el mapa conceptual presentado por el E2, puede entenderse que el ARN únicamente contiene ribosa y uracilo.

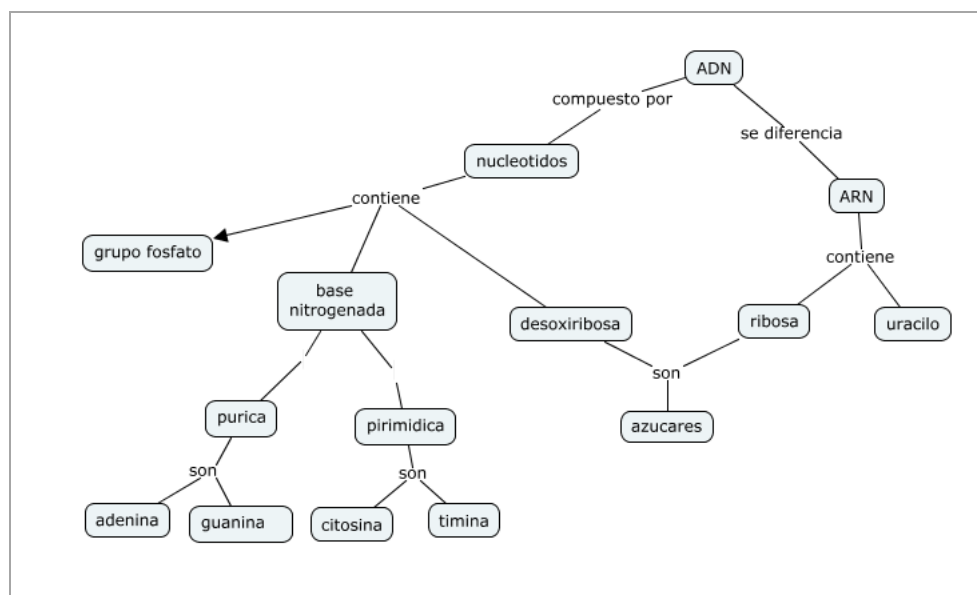


Imagen 15. Mapa conceptual del E2. Actividad 2.

El estudiante 2, se evalúa con base en la matriz propuesta por Rodríguez (2017) (Tabla 9). Los criterios determinados se precisan a continuación:

- NCPU: El valor de este criterio es igual a 10 ya que el estudiante hizo uso de todos los conceptos propuestos en la actividad.
- NCPV: La ubicación acertada en la estructura jerárquica se les otorga a los conceptos propuestos de: ADN, nucleótidos, grupo fosfato, bases nitrogenadas, púrica, pirimidica y azúcar. Mientras que, los conceptos de ARN, y ribosa se reportan como conceptos propuestos inválidos debido a que el ARN al igual que el ADN, en su ácido nucleico y contiene nucleótidos.
- VJ: En la elaboración correcta del mapa se le da una valoración de 4.
- NPV: Se suman 6 proposiciones válidas que usa el estudiante, ya que favorecen la lectura del mapa conceptual.

- NRCV: Se tiene en cuenta la relación cruzada entre la proposición que indica que la desoxirribosa y la ribosa son azúcares.
- NCNV: El estudiante precisa en las bases nitrogenadas, para las cuales se perciben como válidas, las correspondientes al ADN, es decir, 4 conceptos nuevos válidos.
- NPE: Se reporta como errada la proposición de ARN a ribosa y uracilo ya que esto no es lo único que contiene tal ácido nucleico.

ESTUDIANTE 2	
CATEGORÍA	PUNTAJE
Número de conceptos propuestos utilizados (NCPU)	20
Número de conceptos propuestos válidos (NCPV)	28
Valoración jerárquica (VJ)	4
Número de proposiciones válidas (NPV)	24
Número de relaciones cruzadas válidas (NRCV)	4
Número de conceptos nuevos válidos (NCNV)	8
Número de proposiciones erradas (NPE)	4
Puntaje total (PT)	84
Puntaje total de referencia (PTR)	143
Valoración (V)	6
Valoración asignado según rango (VA)	3

Tabla 9. Matriz evaluativa del mapa conceptual del E2

Por tanto, el mapa conceptual del E2 evidencia que su resultado es de 3, lo cual lo ubica en el nivel *Bien*, como permite categorizarlo nuevamente Rodríguez (2017, pág. 220). Esto, es congruente con el mapa conceptual presentado por el estudiante y sus errores encontrados.

Por tanto, en los E2 y E8 fue posible evaluar el contenido y organización conceptual de sus ideas, pues los mapas conceptuales representan de alguna manera la estructura cognitiva de los aprendices y constituyen herramientas válidas para evaluar los niveles de complejidad de su aspecto cognitivo (Costamagna, 2001).

Una vez abordados los conceptos básicos de los ácidos nucleicos, fue pertinente precisar en la complementariedad entre estos y sus estructuras, lo cual se abordó en la actividad 3 y 4.

8.2.3. Actividad 3: Estructura primaria de los ácidos nucleicos

A nivel conceptual, es importante que los estudiantes reconozcan la conformación de los nucleótidos y en general de los ácidos nucleicos. Por esto, en el PGA (Anexo 3, p. 111), resulto trascendental dar a conocer cómo se enlazan los nucleótidos entre los grupos fosfatos y las bases nitrogenadas.

La presente actividad se divide en dos partes. La primera parte se basa en dibujar la estructura primaria de un fragmento de nucleótidos, el cual fue extraído del gen

que sintetiza la hemoglobina y que también tiene la capacidad de mutar y dar origen a la enfermedad de células falciformes. Al evaluar los dibujos presentados por los estudiantes en esta primera parte, fue posible categorizarlos en el nivel 1 cuando en las representaciones se evidenciaba algún tipo de error; mientras que, para los estudiantes que contaban con toda la representación correcta, se les caracterizó en el nivel 5. Para la segunda parte, los estudiantes debían argumentar las diferencias entre los dos aminoácidos que varían y provocan la anemia falciforme.

La Imagen 16 muestra el fragmento de nucleótidos elaborado por el estudiante 6, donde el grupo fosfato del primer nucleótido, según el estudiante, se une al siguiente monómero por carbono 2' formando el enlace fosfodiéster. Sin embargo, teniendo en cuenta lo diseñado en el PGA y lo abordado en clase, el enlace fosfodiéster se forma *entre el 5'-fosfato de un nucleótido y el grupo 3'-OH de la pentosa de otro nucleótido* (Universidad de Talca, 2020). De modo que el E6 fue categorizado en el nivel 1.

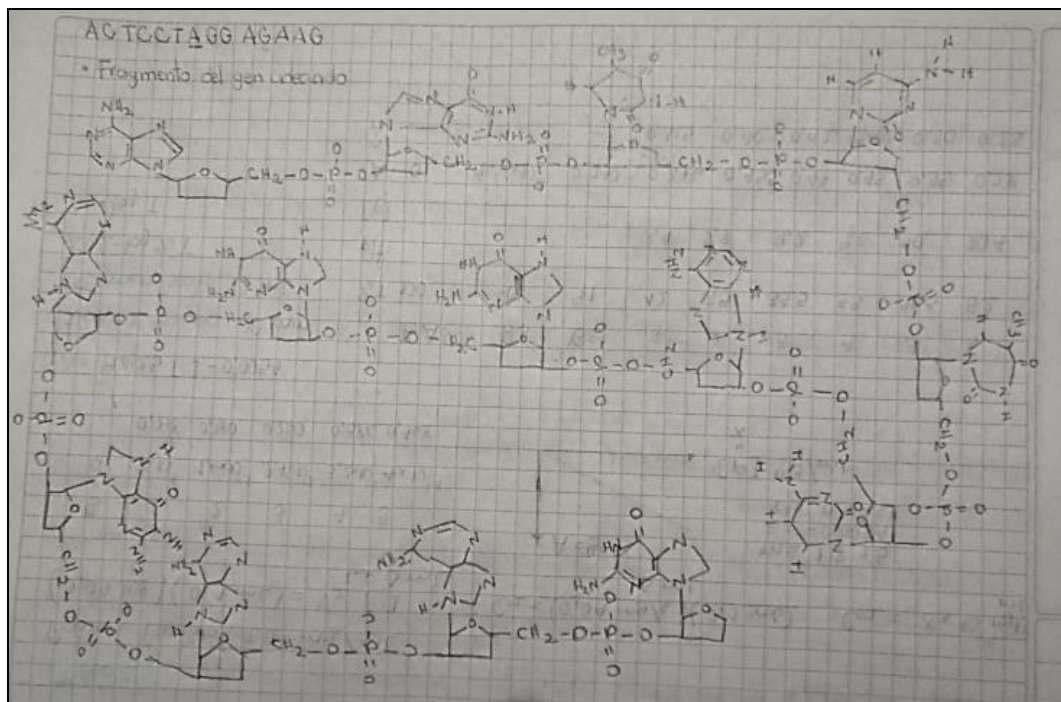
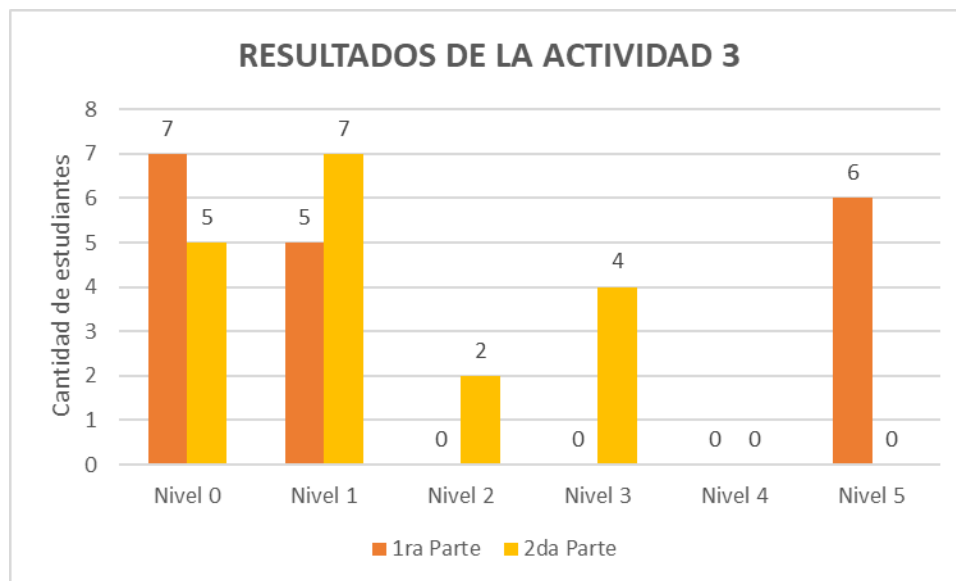


Imagen 16. Resultados del E6. Actividad 3.

Como se muestra en gráfica 5, en esta primera parte, 7 estudiantes no realizaron este punto, mientras que 5 de los restantes evidenciaron las siguientes dificultades: se esquematizó la ribosa en cambio de la desoxirribosa; se realizó erróneamente el enlace covalente fosfodiéster o el enlace N-glucosídico y; escribieron únicamente la letra de la base nitrogenada complementaria más no dibujaron el nucleótido completo con sus respectivas uniones. Por otro lado, los 6 estudiantes restantes realizaron la secuencia de nucleótidos de manera correcta.



Gráfica 5. Resultados de la evaluación de la actividad 3. Fuente: Autora

Para la segunda parte de la actividad 3, en donde los estudiantes debían enunciar qué diferencias hay entre la Valina y el Ácido glutámico para que la síntesis de la hemoglobina se vea afectada; se evidencia en la Gráfica 5 que no se supera el nivel de argumentación 3, donde 5 estudiantes no realizan el ejercicio; 7 de ellos no responden según lo preguntado; 2 asumen el dato y concluyen y: 4 datan, justifican y concluyen con carencias de refutaciones y fundamentos teóricos. En concordancia, se precisa en el estudiante 9.

- Dato: *“La principal diferencia entre la Valina y el Ácido glutámico es la presencia de un ácido carboxílico...”*
- Justificación: *“... porque podría cambiar las condiciones de pH en el medio...”*
- Conclusión: *“...Por tanto, se afecta la producción de la proteína de Hemoglobina.”*

De esta manera, el E9 logra identificar diferencias estructurales que conllevan a cambiar las condiciones del medio en la producción de la hemoglobina, pues “el resultado de la sustitución de valina en lugar de ácido glutámico provoca un “parche” hidrofóbico en la superficie de la molécula” (Cervera, García y Collazo, 2012) alterando la síntesis de la hemoglobina.

Cabe destacar que el abordaje de estas preguntas enmarcadas en la enfermedad de células falciformes permitió relacionar la temática con la controversia a la cual se pretendía llegar con la aplicación del PGA (Anexo 3).

Es importante mencionar que en la presente actividad, 3 estudiantes se categorizaron en el nivel 1 debido a que las respuestas no fueron producto propio, sino que, se logró determinar que fue transcripción de algunos sitios web lo que

conlleva al aumento del porcentaje del nivel de argumentación 1 como el más bajo.

8.2.4. Actividad 4: Estructura secundaria del ADN

Una vez reconocida la estructura primaria de los ácidos nucleicos, fue importante profundizar en los aspectos relacionados con la estructura secundaria del ADN particularmente, pues permitía hablar de complementariedad entre las bases nitrogenadas y explicar el fenómeno de la doble hélice que caracteriza a este ácido nucleico.

Por tanto, se llevó a cabo la cuarta actividad que fue dividida en dos partes. La primera parte se basó en un esquema en el cual se muestran los puentes de hidrógeno formados entre las bases nitrogenadas; lo que también permitió reconocer si las falencias de la actividad 3 fueron solventadas, ya que reiteradamente debían dibujar los enlaces fosfodiéster y n-glucosídico. Es importante precisar que, aquí se evaluó bajo los mismos criterios de la primera parte de la actividad 3.

La imagen 17 muestra la propuesta de formación de puentes de hidrógeno elaborada por el estudiante 3, donde se evidencian errores en términos de que la estructura secundaria del ADN “está formada por dos hebras de nucleótidos. Estas dos hebras se sitúan de forma antiparalela, es decir, una orientada en sentido 5'-3' y la otra de 3'-5'” (Gálvez, 2009), por tal razón, el E3 se categoriza en el nivel 1 debido a que esquematizó las hebras en forma paralela. A los estudiantes que al igual que E3 se les adjudicó en el nivel 1, se debe a la ausencia del carbono 5' en el azúcar desoxirribosa.

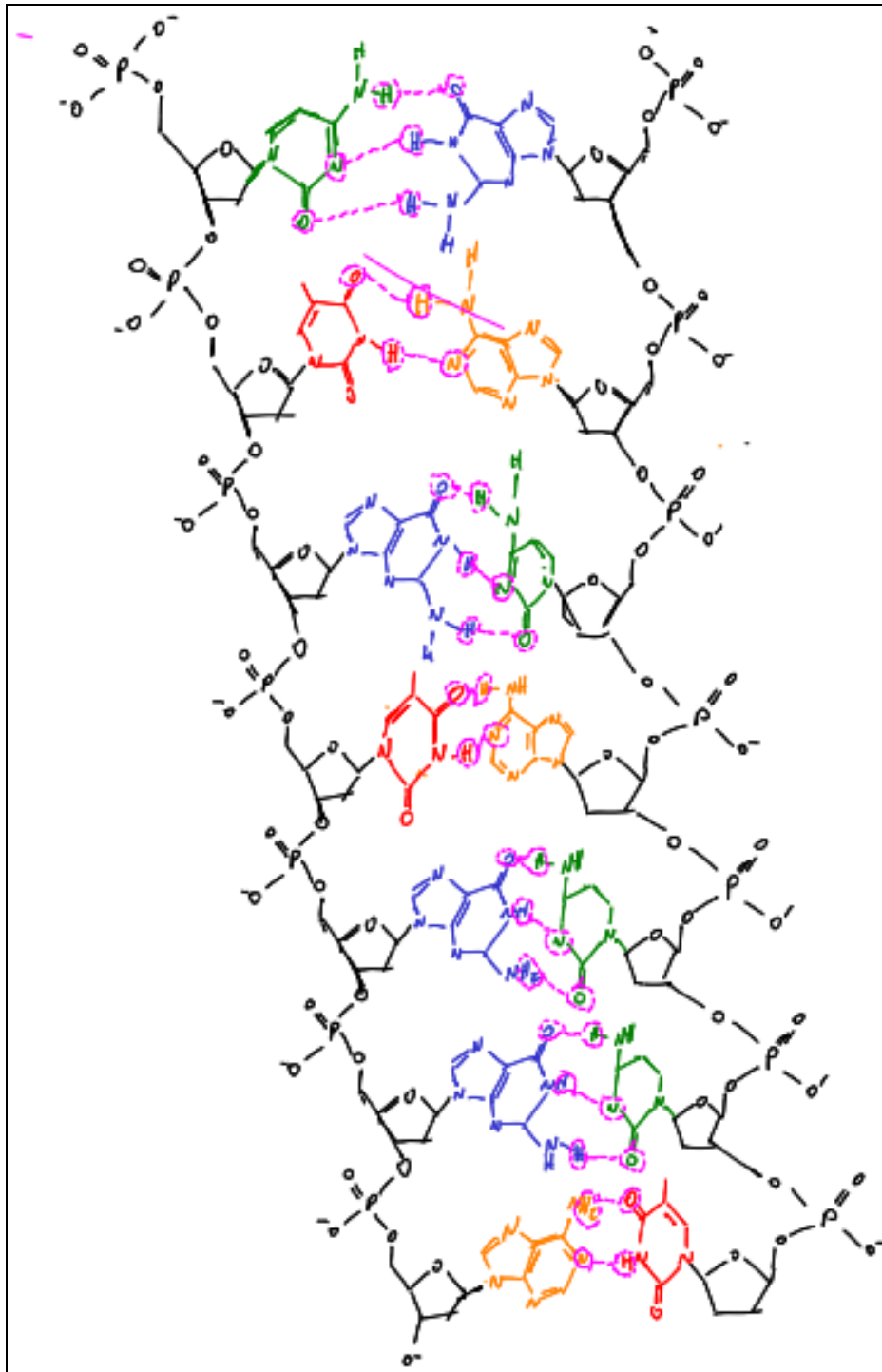
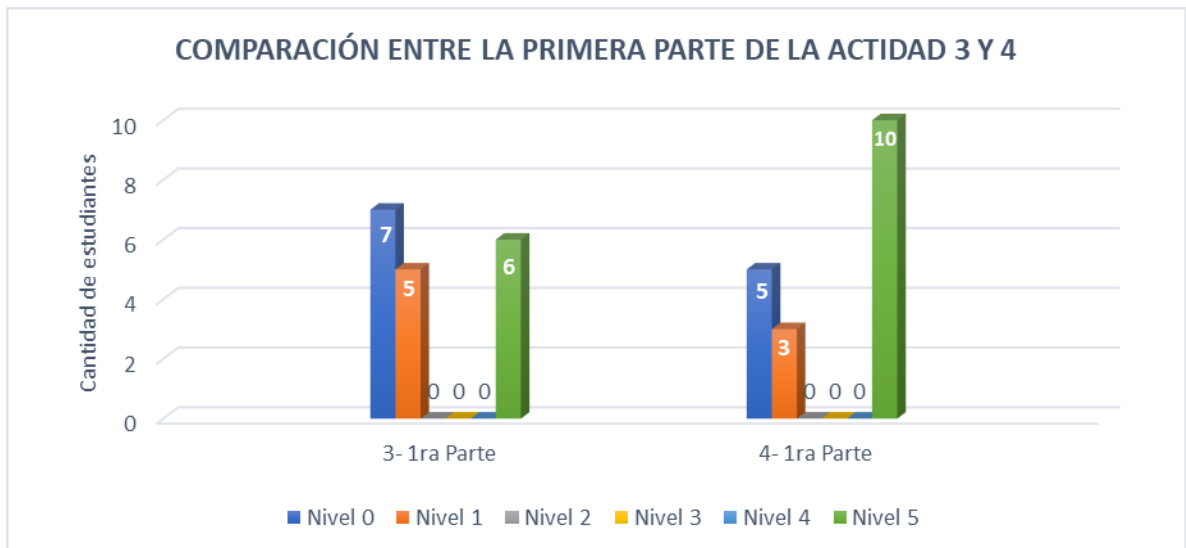


Imagen 17. Representación de formación de puentes de hidrógeno en la estructura secundaria del ADN del E3. Actividad 4.

No obstante, si se comparan los resultados de la primera parte de la actividad 3 junto con la evaluación de los resultados de la actividad 4 (Gráfico 6); se muestra que en la actividad 3, 11 estudiantes realizaron la actividad; sin embargo, 5 de

estos contaron con errores que los situaron en el nivel 1 debido a la errónea formación de enlaces en la estructura primaria y el uso de la azúcar que caracteriza al ARN, aun sabiendo que el ejercicio abordaba una enfermedad de la especie humana. El restante se categorizó en el nivel más alto al no mostrar ningún error. Por otro lado, para la actividad 4, se redujo el nivel de estudiantes que no presentaron dibujo de 7 a 5; además, de los 13 que realizaron el ejercicio, 10 lo hicieron de manera correcta tanto en los puentes de hidrógeno y la posición antiparalela de las hebras, como en los enlaces fosfodiéster y n-glucosídico. De lo cual es posible inferir que se fortalecieron las falencias de la actividad 3 debido al incremento de estudiantes en el nivel más alto en la actividad 4.



Gráfica 6. Comparación entre la primera parte de la actividad 3 y 4. Fuente: Autora

Es preciso resaltar el primer principio de la competencia argumentativa en este punto de la aplicación de PGA, pues el propósito de la elaboración de dibujos que representen la formación de enlaces entre los nucleótidos le brinda conocimientos a los estudiantes y herramientas conceptuales de base para la comprensión del Dogma central de biología molecular y la controversia en la modificación genética a la cual se pretendía llegar de forma progresiva.

Ahora bien, para la segunda parte de la actividad 4 (Anexo 3, p. 117), los estudiantes debían responder a la siguiente pregunta:

2. El ADN es un ácido nucleico susceptible de ser desnaturalizado vía tratamiento térmico o mecánico, la facilidad de desnaturalizarse depende de las fuerzas que estabilizan la estructura secundaria. De acuerdo con lo anterior, de las siguientes fracciones de ADN, mencione cuál de ellas se desnaturaliza con mayor facilidad y explique las razones.

5'-GCATTTTCGGCGCGTTA-3'
3'-CGTAAAGCCGCGCAAT-5'

5'-ATTGCGCTTATATGCT-3'
3'-TAACGGGAATATACGT-5'

La gráfica 7, expone los resultados de la segunda parte; teniendo en cuenta el modelo de Toulmin integrado en la tabla 4, allí se obtuvo un incremento del nivel de argumentación, pues 2 estudiantes de los que presentaron la actividad se categorizaron en el nivel 5 de argumentación; también, 2 estudiantes se situaron en el nivel 4, destacando el uso de fundamentos teóricos y refutaciones que dan solidez a los argumentos.



Gráfica 7. Resultados de la evaluación de la segunda parte de la actividad 4. Fuente: Autora

Para efectos que demuestren un avance significativo con la aplicación del PGA y los resultados presentados por los estudiantes, se detalla en el E10, el cual en su respuesta integra los 6 elementos esenciales de la argumentación, según Toulmin (2003) y Erduran (2004):

- Datos: “... la proporción A+T/C+G está relacionada en primer lugar con la estabilidad de la molécula de ADN de doble hélice...”
- Justificación: “... ya que, cuanto mayor es el contenido en G+C de una molécula, mayor cantidad de pares G-C presentará, como consecuencia tendrá una mayor cantidad de triples enlaces”
- Fundamento teórico: “...por consiguiente, se tendrá en cuenta que por esos triples enlaces será necesario suministrar una mayor cantidad de energía a esa doble hélice para separar sus dos hebras ...”
- Conclusión: “...Por tanto, será más complejo el fenómeno de la desnaturalización el ADN...”
- Cualificador modal: *Más complejo.*

- Refutación: “...Sin embargo, si se cuenta con más A+T la desnaturalización se efectuará de forma más sencilla y con menor gasto energético.”

Con lo cual, el E10 aumentó su nivel de argumentación del 3 al 5, haciendo uso de todos los elementos tenidos en cuenta en esta investigación como lo enuncia Tamayo (2011): “El nivel 5 de argumentación muestra argumentos en los que se identifican datos, conclusión(es), justificación(es), respaldo(s), cualificador(es) modal(es) y contraargumento(s).”

En este sentido la competencia argumentativa, en esta actividad, logra integrar los tres aspectos que han sido nombrados a lo largo del texto, pues se plantean respuestas por parte de los estudiantes, con pertinencia y coherencia a partir de una acción contextualizada que busca dar explicación a las ideas que los maestros en formación articulan y dando sentido a las mismas (ICETEX, 1998, citado por Osorio Zapata, 2005).

Teniendo en cuenta lo abordado hasta este momento y con el fin de brindar herramientas conceptuales a los estudiantes, bajo un aprendizaje social e individual, se realizó la actividad 5 que retomaba una función del ADN (replicación) y daba cuenta de la controversia a la que ha conllevado el uso de las técnicas analíticas en las ciencias forenses.

8.2.5. Actividad 5: Estructura secundaria y replicación del ADN

Después de reconocer la estructura secundaria del ADN fue necesario realizar una retroalimentación para minimizar las dificultades conceptuales de los estudiantes, encontradas en las actividades anteriores, tales como: formación de puentes de hidrógeno, hebras antiparalelas y estructura helicoidal. Para esto, la primera parte de la actividad 5 (Anexo 3, p. 125) correspondió a la elaboración de un mentefacto sobre el concepto de estructura secundaria del ADN.

En la segunda parte de la presente actividad, el estudiante respondió a dos preguntas frente a la replicación del ADN (tema previamente abordado en clase) y; en la última y tercera parte de la actividad, los estudiantes llevaron a cabo la lectura del artículo de “*Crónica sobre el impacto de la tecnología del ADN en las Ciencias Forenses*” escrito por Arroyo (2014), donde se enunciaban todas las técnicas que han trascendido en la identificación del ADN junto con sus aportes en casos judiciales. Con tal lectura se le pedía al estudiante realizar un texto que argumentara la importancia del uso de técnicas analíticas en las ciencias forenses.

Puntualizando en la primera parte de la actividad 5, es fundamental mencionar la rúbrica que permitió evaluar los mentefactos realizados por los estudiantes (Anexo 4). A continuación, se precisan los criterios tenidos en cuenta y establecidos por Castellanos (2017):

“La rúbrica para evaluar los mentefactos (Anexo 4) contiene un concepto por cada ítem del mentefacto (esquema, concepto central,

supraordinada, isoordinada, exclusiones e infraordinada) y una valoración numérica según la escala valorativa de 1 a 5. Luego de evaluar los mentefactos, los resultados por cada ítem fueron promediados, y también los de todos los ítems obtenidos por cada estudiante. Además, se calculó la desviación estándar, encontrándose en varios casos una desviación estándar superior a uno, lo cual indicó que éstos no elaboraron de forma adecuada el ejercicio del mentefacto, y su desempeño fue bajo. Los otros participantes que obtuvieron un desempeño superior indicaron que ellos sí desarrollaron habilidades superiores del pensamiento.”

La valoración del ítem de *esquema*, se determinó mediante la estructura y el empleo de los elementos característicos del mentefacto, es decir, para los estudiantes que hicieron uso de *concepto central, supraordinada y exclusiones* de manera válida y lógica, se les adjudicó un 3 debido a la falta de *isoordinadas e infraordinadas*. Por otro lado, el *concepto central* se valoró bajo la ausencia o presencia de este, estableciendo calificaciones de 1 o 5 respectivamente. Los ítems restantes se valoraron según la coherencia entre estos y la definición planteada por Ibáñez (2006):

- Supraordinada: Es una clase que contiene por completo a otra.
- Exclusiones: Son las clases que se oponen o se excluyen mutuamente, se asocia con la operación de excluir o negar un nexo entre dos clases adyacentes.
- Isoordinada: Establece alguna correspondencia no total y se asocia con la operación o nexos entre clases adyacentes.
- Infraordinada: Varias subclases de una clase.

Con base en lo anterior, se realiza un mentefacto referencial que da cuenta de la estructura y coherencia entre cada uno de los ítems del mismo, éste se presenta inmediatamente en la Imagen 18.

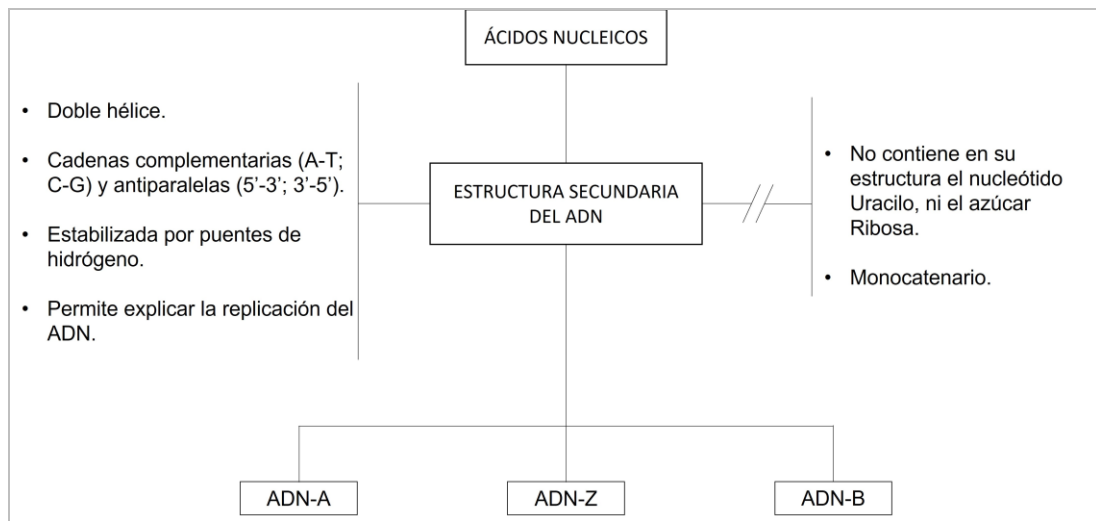
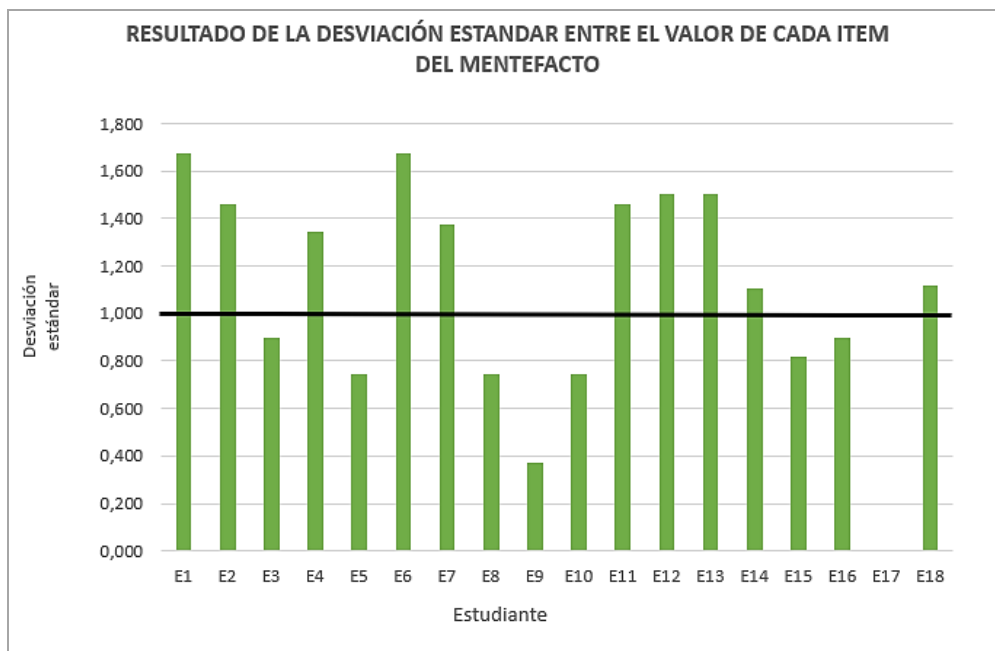


Imagen 18. Mentefacto referencial de la parte 1 de la actividad 5. Fuente: Autora

Según el método evaluativo de los mentefactos propuesto por Castellanos (2017) y los resultados de la gráfica 8, se dilucida que el estudiante 17 no presentó la actividad y por tanto cuenta con una desviación estándar de 0. Para los estudiantes con desviación estándar superior a 1 se infiere que no desarrollaron de manera correcta el ejercicio del mentefacto (Castellanos, 2017); mientras que, los participantes restantes con desviaciones inferiores a 1 realizaron la actividad de manera adecuada obteniendo un alto desempeño.



Gráfica 8. Resultados de la desviación estándar entre el valor de cada ítem del mentefacto. Actividad 5

Como ejemplo, se presenta el mentefacto del E16 (Imagen 19) en el que se obtuvo una desviación estándar <1 . El estudiante identifica la estructura secundaria del ADN como una explicación de los ácidos nucleicos (supraordinada); del mismo modo, en esta estructura se le otorga correspondencia (isoordinada) a una doble hélice con bases nitrogenadas unidas mediante puentes de hidrógeno, sin embargo, es notoria la ausencia de la característica antiparalela de las hebras de la doble hélice y de la importancia de la replicación del ADN, por ello, se le da una calificación de 3. En las exclusiones del mentefacto del E16, la diferencia debe ser con el concepto central y no con la supraordinada, donde se esperaba que el estudiante enunciara la ausencia de uracilo ó que dicho concepto de estructura secundaria del ADN no es monocatenario, sin embargo, esto está implícitamente en el ARN y debido a esto, se califica en 3 el ítem de exclusiones. Finalmente, para la infraordinada se esperaba que el estudiante mencionara los diferentes tipos de ADN, sin embargo, la complementariedad entre las bases nitrogenadas que generan la doble hélice también suscita de la estructura secundaria concediéndole una valoración de 4 en el último ítem al estudiante en formación.

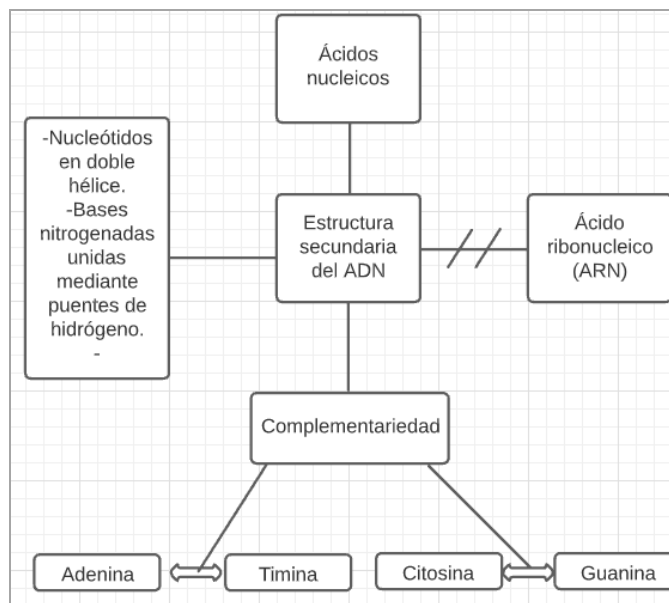


Imagen 19. Mentefacto del E16 en la primera parte de la actividad 5

Por otro lado, en el mentefacto del estudiante 18 (Imagen 20) no se observa la estructura característica de un mentefacto y por tanto se obtiene una desviación estándar >1 . Sin embargo, se encuentra una lógica que expresa que la estructura secundaria está conformada por estructuras primarias donde estas a su vez cuentan con nucleótidos seguidos entre sí; asimismo, se muestra la interacción de las fuerzas que interfieren en la construcción de la doble hélice. Por esta razón se da una valoración de 4 para las isoordinadas, siendo una correspondencia o una característica del concepto central (Riveros, 2017), que en este caso sería la estructura secundaria del ADN. Empero, se da una valoración de 1 para los ítems

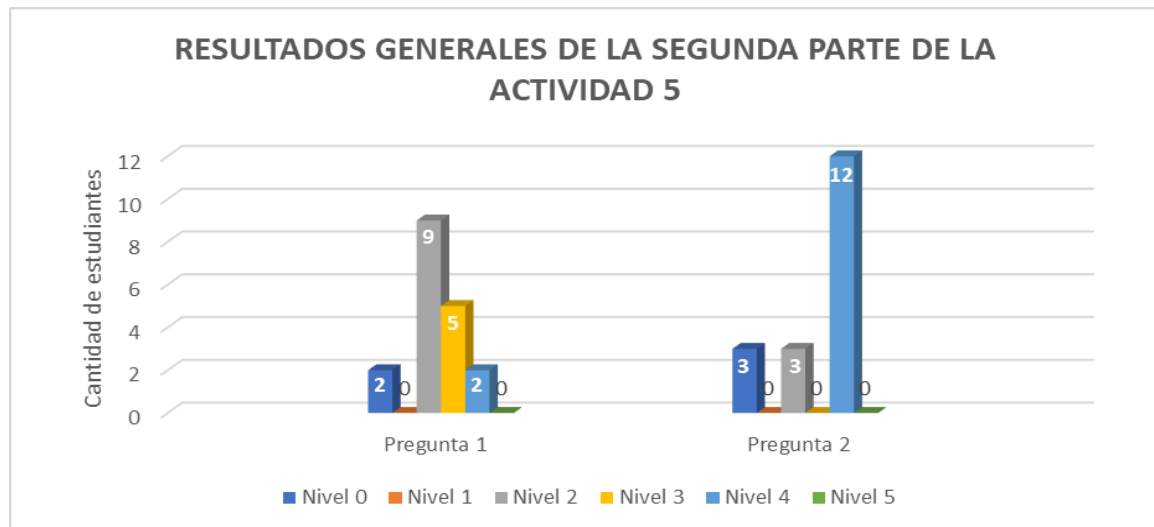
de: esquema, concepto central, supraordinada, infraordinada y exclusiones, debido a la carencia y claridad de estos en el esquema.



Imagen 20. Mentefacto del E18 en la primera parte de la actividad 5.

En ese sentido, es oportuno destacar la falta de conocimiento con la que contaban los estudiantes en la elaboración de un mentefacto, lo que interfiere en la cuantificación de la actividad.

En la segunda parte de la actividad 5 se realizaron 2 preguntas detalladas en el Anexo 3, p. 125. En la primera debían argumentar la importancia de la replicación del ADN y en la segunda argumentar el comportamiento de la cadena continua y la cadena rezagada. Los resultados generales se presentan en la gráfica 9.



Gráfica 9. Resultados evaluados de la segunda parte de la actividad 5.

La primera y segunda pregunta muestran a 2 y 3 estudiantes en el nivel de argumentación 0 respectivamente, lo que indica que estos no presentaron las respuestas de este ejercicio. Mientras que, los estudiantes restantes se situaron entre los niveles 2 y 4.

Como ejemplo de la segunda parte de la actividad, se consideran las respuestas del E1; pues este cuenta con niveles de argumentación 2 y 4 en sus respuestas lo que permite contrastar las diferencias entre un nivel y otro.

- En la pregunta 1, el E1 data: “... *La replicación del ADN propaga el material genético...*”; Concluyendo que “... *Por tanto, la replicación del ADN es importante*”.

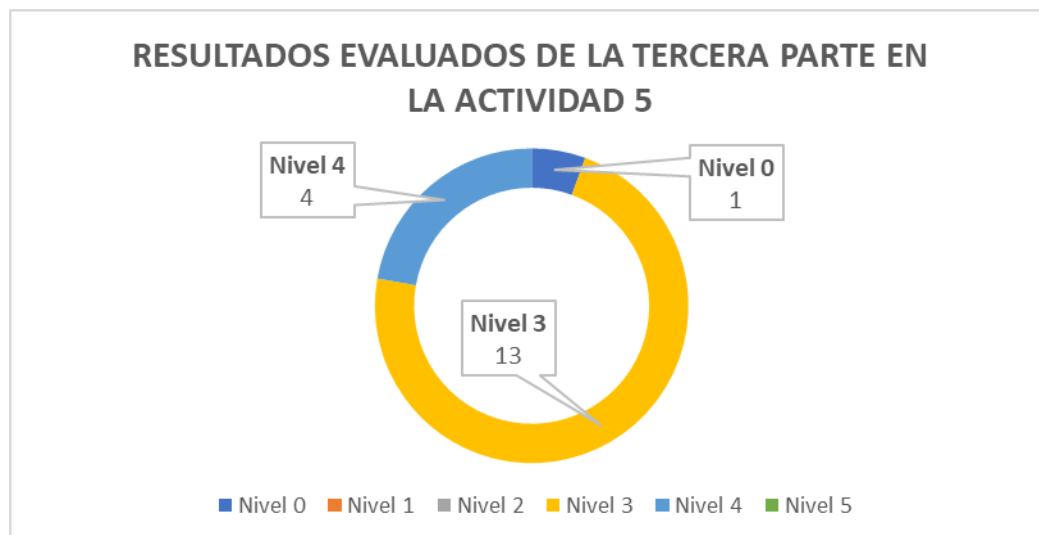
Como se evidencia el estudiante parte de un dato básico que da insuficiencia a la premisa e inmediatamente se encuentra una conclusión sin razones que den sentido y confiabilidad a lo que se intenta argumentar (Tamayo, 2011); situando la respuesta del estudiante en un nivel 2.

- En la pregunta 2, el E1 hace uso de más elementos de la argumentación los cuales se exponen a continuación:
 - ✓ Dato: “*En la parte continua el cebador deja el grupo OH libre, lo que permite que otros nucleótidos complementarios empiecen a unirse...*”
 - ✓ Justificación: “...*por acción de la ADN polimerasa III, y la ADN polimerasa uno, reemplaza el cebador de RNA...*”
 - ✓ Conclusión: “...*Por tanto... es importante la replicación del ADN por la división celular continua de los seres.*”
 - ✓ Refutación: “*A menos que... sea una parte discontinua que se realiza por fragmentos denominados fragmentos de Okazaki, donde se usan múltiples cebadores...*”

Con base a lo anterior, se muestra el uso de la justificación y refutación, como elementos fundamentales en el nivel 4 (Tamayo, 2011); en el que el estudiante establece relaciones conceptuales que aportan al desarrollo de la competencia argumentativa con el uso de contraargumentos a partir del principio del manejo de conocimientos y habilidades en la elaboración y organización de ideas (Guzmán-Cedillo & Flores, 2012).

La tercera y última parte de esta actividad cuenta con una lectura enmarcada en la controversia de la veracidad de las pruebas analíticas en las ciencias forenses, contrastando estudios de caso y a su vez dando cuenta de las técnicas aplicadas. Desde allí se pretendía que los estudiantes articularan todo lo aprendido hasta ese momento y aumentaran los niveles de argumentación.

En el gráfico 10 se muestra los resultados de la tercera parte, dando cuenta de que solo un estudiante no participó en esta actividad y por tanto se ubica en el nivel más bajo de argumentación. Los participantes de la actividad por otro lado lograron aumentar su nivel de argumentación, ya que no se sitúan estudiantes en los niveles 1 y 2. Si bien, no se alcanza el nivel 5 de argumentación, respecto al instrumento inicial, es evidente el progreso a nivel general del curso. Y para dar cuenta de ello se presenta a los estudiantes 5 y 13.



Gráfica 10. Resultados evaluados de la tercera parte en la actividad 5

A continuación, se presenta la respuesta dada por el estudiante 5 con un nivel de argumentación de 4 puesto que enuncia datos, justificaciones, conclusiones, refutaciones y cualificadores modales:

- Dato: *“El ADN es una gran fuente de análisis en muchos campos de la ciencia, pero su gran desempeño lo realiza en el área de las ciencias forenses...”*
- Justificación: *“...ya que desde el siglo pasado a contribuido en muchas investigaciones de aquí su importancia en: primero, una técnica analítica que permite identificar mutaciones en los genes; segundo, la técnica VNTR-RFLP que da paso a identificar fragmentos de ADN de interés y; tercero, la técnica de PCR, el cual procede a realizar análisis de muestras aún más microscópicas de lo normal...”*
- Conclusión: *“...Por tanto, algunos de los métodos mencionados logran identificar a un asesino, un pariente desaparecido o muerto; realizar un análisis de las características familiares y hasta establecer linajes...”*
- Cualificador modal: *Algunos.*
- Refutación: *“A menos que al realizar todos estos procedimientos de lectura y manipulación no se haga de manera cuidadosa y conlleve a malinterpretación de resultados que provoque la libertad o cárcel a alguien.”*

El estudiante 5 asume una postura y muestra refutación frente al uso de prácticas analíticas en las ciencias forenses, tema que ha sido controversial en los tribunales como uso de prueba veraz y determinante (Arroyo, 2014). De esta manera, el desarrollo de habilidades y actitudes se considera que es de suma importancia debido a la presencia contraargumentaciones que “desde puntos de vista contradictorios u opuestos suman en el proceso evaluativo de la calidad de los argumentos” (Tamayo, 2011). Así, las miradas controversiales le permiten al

estudiante poner en práctica lo aprendido en temas contextuales contribuyendo al aprendizaje significativo (Tapia, 2005).

Ahora bien, el estudiante 13 se situó en un nivel de argumentación 3, debido a la carencia de Refutaciones y Cualificadores modales como se muestra inmediatamente:

- Dato: *“Es de vital importancia, empezar a incorporar nuevas tecnologías sobre el ADN en la ciencia forense y en diversos campos...”*
- Justificación: *“... pues estas técnicas, permiten la identificación de sujetos a través del análisis de mini-satélites, los cuales están basados en variaciones de secuencia...”*
- Conclusión: *“... Por tanto, se ha dado pie a hallazgos que generan relevancia de estas técnicas en la ciencia forense.”*

En este orden de ideas, se contempla el nivel de argumentación 3 con sus respectivos elementos, que, además de ello en el E13 se considera una “descripción de sus ideas de manera coherente y; son argumentos mejor estructurados, donde se visualizan conectores, buen manejo de conceptos, redacción clara y de fácil interpretación” (Tamayo, 2011). En relación con esto, la competencia argumentativa se incrementa a nivel conceptual, lo cual se siguió trabajando en la actividad 6.

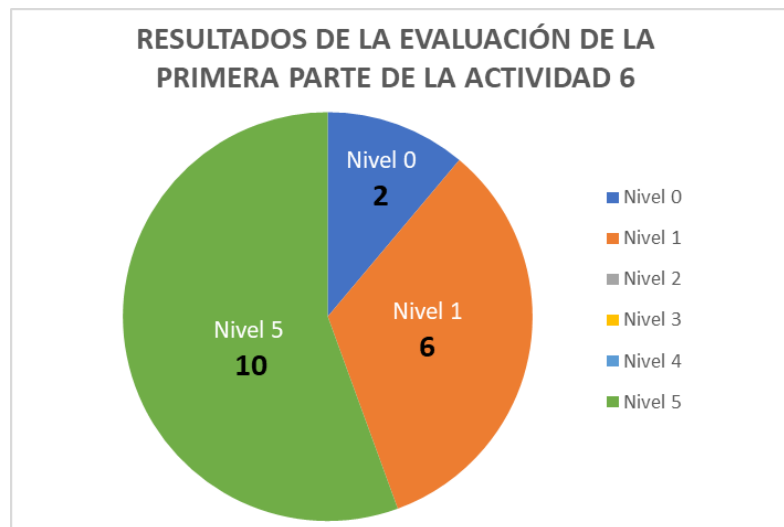
8.2.6. Actividad 6: Dogma Central de la Biología Molecular

Es fundamental brindarles a los estudiantes herramientas conceptuales que les permitan defender sus ideas y asumir una postura crítica en pro a la competencia argumentativa. Por ende, la construcción del PGA, en la actividad 6 radica en 3 partes. En la primera, se mostraban 9 afirmaciones con procesos del Dogma Central de la Biología Molecular, en las cuales los estudiantes debían enunciar si estas eran falsas o verdaderas; la segunda parte, abarcaba el código genético, allí, los estudiantes a partir de un fragmento de ADN, presentaban la secuencia de aminoácidos que se formaba según los tripletes encontrados; para la última parte, se les facilitó un laboratorio virtual, en el que se simulaba la electroforesis y con el que debían realizar un análisis frente a todas las variables tenidas en cuenta en la práctica.

Tanto para la primera y como para la segunda parte se tuvieron en cuenta los criterios de la actividad 3 y 4, donde si los estudiantes contaban con algún error en sus respuestas se categorizaban en el nivel 1; mientras que, los estudiantes que contaban en sus respuestas con todo el ejercicio correcto se le situó en el nivel 5 y; a los estudiantes que no fueron participes de la actividad se categorizaron en el nivel 0.

En la primera parte de la actividad 6 (Gráfico 11), dos estudiantes no realizaron el ejercicio (nivel 0); 6 de los 18 pertenecientes a la población objeto de estudio presentaron dificultades que los situaron en el nivel 1 y los restantes reconocieron

los procesos del Dogma Central de la Biología Molecular, lo cual permitió destacarlos en un nivel 5.



Gráfica 11. Resultados de la evaluación de la primera parte de la actividad 6

La Imagen 21 muestra como ejemplo, los resultados de los estudiantes 2 y 3 en la primera parte de la actividad 6. El estudiante 2, clasificó de manera correcta cada uno de los enunciados propuestos, categorizándolo en el nivel 5. Por el contrario, el estudiante 3 presentó errores que lo categorizan en el nivel más bajo, dichos errores se precisan a continuación.

(a)	(b)
(a) <u>F</u> RNA → replicación → RNA1 + RNA2	(a) <u>V</u> RNA → replicación → RNA1 + RNA2
(b) <u>V</u> DNA → transcripción → RNA	(b) <u>V</u> DNA → transcripción → RNA
(c) <u>F</u> DNA → traducción → proteína	(c) <u>F</u> DNA → traducción → proteína
(d) <u>V</u> DNA → replicación → DNA1 + DNA2	(d) <u>V</u> DNA → replicación → DNA1 + DNA2
(e) <u>F</u> RNA → transcripción → proteína	(e) <u>F</u> RNA → transcripción → proteína
(f) <u>F</u> RNA → transcripción → DNA	(f) <u>V</u> RNA → transcripción → DNA
(g) <u>V</u> RNA → traducción → proteína	(g) <u>V</u> RNA → traducción → proteína
(h) <u>F</u> DNA → traducción → RNA	(h) <u>F</u> DNA → traducción → RNA
(i) <u>F</u> RNA → traducción → DNA	(i) <u>F</u> RNA → traducción → DNA

Imagen 21. Resultados de los E2 (a) y E3 (b) en la parte 1 de la actividad 6.

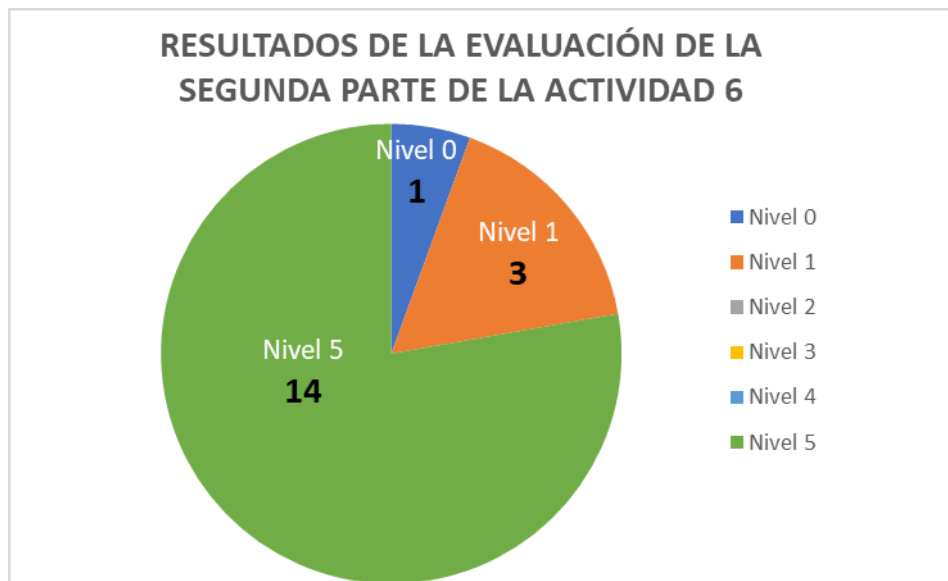
Nota: La Imagen 21. (a) muestra los resultados del estudiante 2 y; la imagen 21 (b) detalla los resultados del estudiante 3. Estos son pertenecientes a la primera parte de la actividad 6.

En el primere enunciado el estudiante 2 clasifica como falso la replicación del ARN con un resultado de dos cadenas más, mientras que, el estudiante 3 la asume como verdadera. Es importante aclarar que el fenómeno de la replicación,

abordado en clases, se realizó sobre el ADN, ya que debido a su característica de doble hélice se puede obtener dos cadenas idénticas bajo una inicial que actúa como molde (Quinatoa, 2021) obedeciendo la replicación semiconservativa. En consecuencia, la respuesta correcta es la del estudiante 2.

El enunciado *f* nuevamente muestra diferencia entre los resultados de los estudiantes 2 y 3 donde se expresa que el ARN cuenta con la capacidad de transcribir el DNA, sin embargo, teniendo en cuenta lo abordado en clase, el ADN es quien transcribe el gen a ARNm mensajero (Martínez-Frías, 2010) el cual pasa por una etapa de maduración para traducir los nucleótidos a aminoácidos como estructura monómero de las proteínas. Por tanto, la respuesta dada por el E3 está errada y con los dos errores mencionados se ubica al estudiante en la población con un nivel 1.

Por otro lado, la segunda parte (Gráfico 12), cuenta con un estudiante el cual no llevó a cabo la actividad y por ende se sitúa en el nivel 0; para los que sí desarrollaron el ejercicio, 3 mostraron errores en la codificación genética, mientras que 14 estudiantes en formación de la población construyeron de manera adecuada la secuencia de aminoácidos según los tripletes allí encontrados.



Gráfica 12. Resultados de la evaluación de la segunda parte de la actividad 6

La Imagen 22 muestra los resultados de los estudiantes 8 y 12 los cuales cuentan con niveles de 1 y 5 respectivamente. Puntualizando nuevamente en las diferencias entre estos.

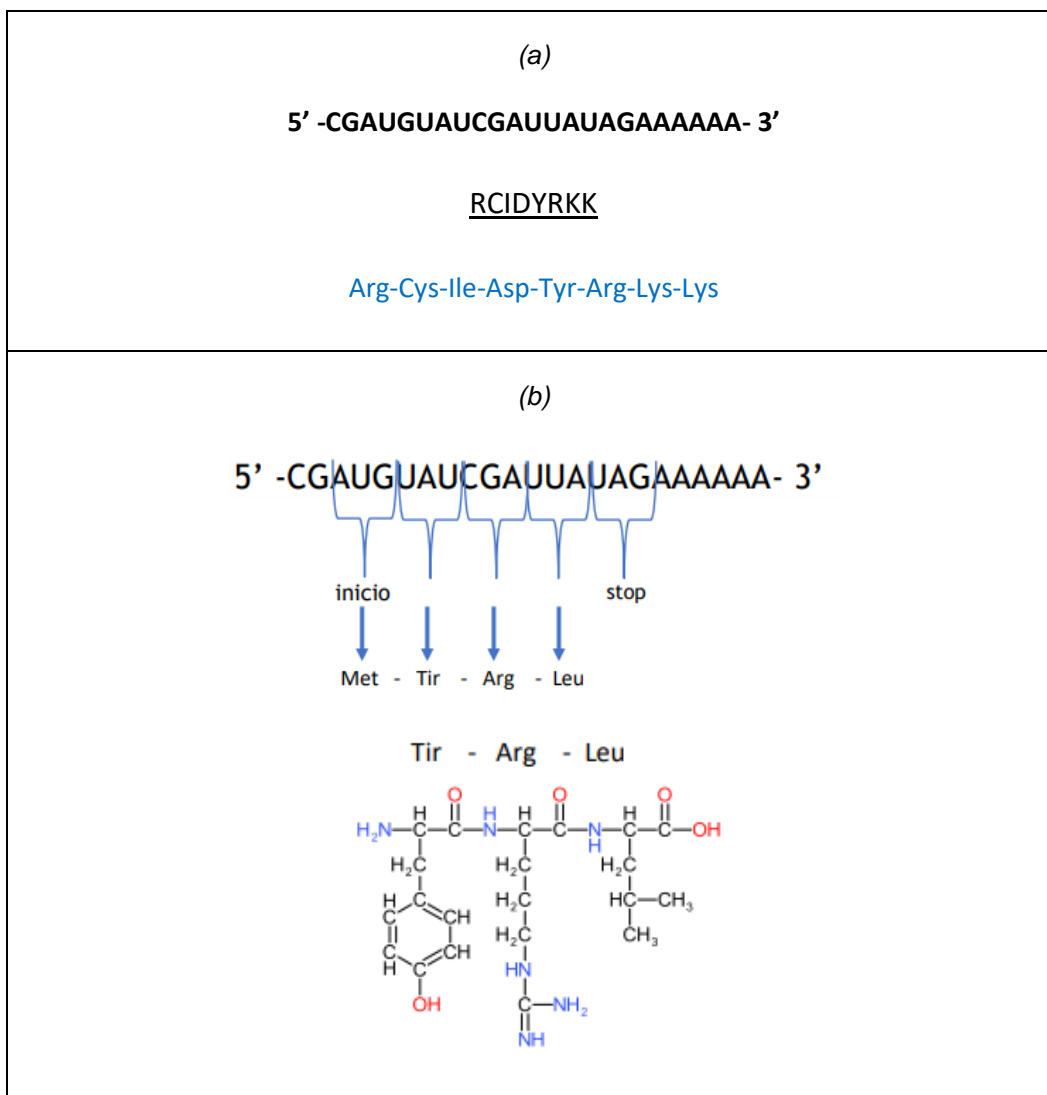


Imagen 22. Resultados de los E8 (a) y E12 (b) en la segunda parte de la actividad 6.

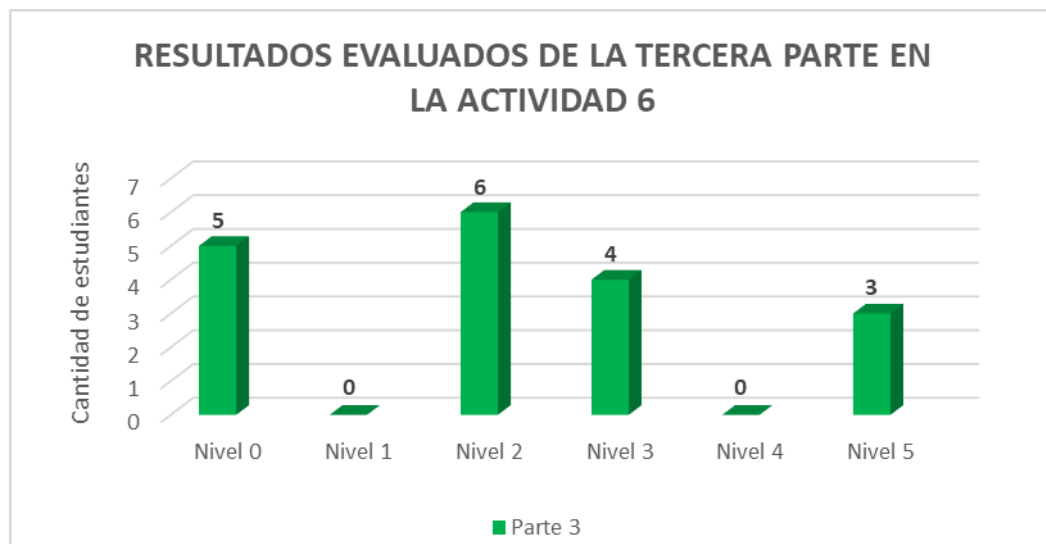
Nota: La Imagen 22. (a) muestra los resultados del estudiante 8 y; la imagen 22 (b) detalla los resultados del estudiante 12. Estos son pertenecientes a la segunda parte de la actividad 6.

Según la secuencia de nucleótidos facilitada a los estudiantes, estos inicialmente debían identificar el codón de iniciación el cual en el ARNm previa a la traducción es *AUG* (Martínez, 2010), una vez se distingue este triplete se prosigue codificar los aminoácidos respectivos según los tríos siguientes hasta encontrar uno de los codones de *Stop*, que en este caso es *UAG*, el cual indica que la síntesis de la proteína a finalizado. Se resalta que el péptido resultante desprecia a la metionina ya que este aminoácido solo es un indicador de iniciación.

Con lo anterior, en la Imagen 22 (a) se evidencia que el E8 no identifica el codón de iniciación, sino que hace la respectiva agrupación de los tríos codificando de manera seguida, error que se encontró también en los 2 estudiantes que acompañan al E8 en el nivel 1. En comparación con la Imagen 22 (b), el

estudiante 12 distingue el inicio de la codificación y del mismo modo la parada de la síntesis del péptido; asimismo desprecia la metionina, lo cual lo posiciona en el nivel más alto.

Ahora bien, en la última parte de la actividad 6, se realiza un estudio de los resultados de la aplicación del laboratorio virtual que se centra en la construcción de un análisis integral por parte de los estudiantes en torno a la práctica. Los resultados de la tercera parte se muestran en la gráfica 13; dicha gráfica dilucida que 5 estudiantes no realizaron esta parte; 6 estudiantes por otro lado se ubicaron en el nivel 2 de argumentación; 3 participantes en el siguiente nivel y los restantes en el nivel más alto de argumentación.



Gráfica 13. Resultados evaluados de la tercera parte en la actividad 6

Para denotar los extremos de los niveles obtenidos con los estudiantes que presentaron el análisis del laboratorio, se exponen los resultados de los estudiantes 3 y 17 situados en los niveles de argumentación 5 y 2 respectivamente.

El estudiante 2 presentó un análisis completo teniendo en cuenta cada una de las variables de la práctica, por tanto, aquí se muestra una de ellas y los elementos usados en la argumentación:

- Dato: *“La importancia de una longitud de ADN es respecto a las similitudes que se están realizando, este es el caso del tipo organización genética de una cadena en hélice como en esta...”*
- Justificación: *“... ya que depende del tipo de nucleótidos implementados en la cadena...”*
- Fundamentación teórica: *“... unos nucleótidos con una masa atómica más grande generan un menor desplazamiento por su peso molecular o por la disposición de las cargas, y el volumen de esta que dificulta el desplazamiento por el gel...”*

- Conclusión: *“... es así como dependiendo del tamaño del ADN este tendrá mayor o menor fuerza de atracción debido al diferencial de potencial...”*
- Cualificador Modal: *Mayor o menor fuerza de atracción*
- Refutación: *“En gran medida analizar los desplazamientos del ADN no tendría validez si no es comparado por algún estándar de referencia, si la franja mancha en el gel es cercano a la alguna franja mancha por el de referencia, y así determinar qué tipo de ADN es, por ejemplo, el poder identificar el ADN de hallado en una escena del crimen en comparación de algún sospechoso, de esta manera es posible saber que tan similares serán estas muestras.”*

De esta manera se evidencia el uso de todos los elementos propuestos para una buena argumentación según Toulmin (2003), lo cual sitúan al estudiante 3 en el nivel 5, en este nivel argumentativo es de importancia el uso de la fundamentación teórica que, de acuerdo con la propuesta del autor mencionado, “un esquema para analizar los argumentos relaciona los datos con la conclusión, para lo cual se requiere de las garantías y estas, a su vez, se apoyan en otras certezas, sin las cuales las propias garantías carecerían de autoridad”. También es pertinente mencionar como el estudiante articula lo aprendido en las actividades anteriores, particularmente en la actividad 5 en la que el estudiante realizó una lectura frente al impacto de las técnicas analíticas en las ciencias forenses y, en concordancia con el análisis del estudiante este logró dar una respuesta desde sus metacogniciones propiciando el aprendizaje significativo y haciendo uso de una cuestión sociocientífica.

Por otro lado, cuando se analizan a los estudiantes del nivel de argumentación 2, es pertinente destacar al estudiante 17. En virtud de ello, se presenta a continuación el análisis presentado:

- Dato: *“Luego de realizar el correspondiente laboratorio en el simulador, donde se obtiene la muestra de ADN, se realiza la preparación del gel, la carga de las muestras, la corrida de gel y teñido del mismo, y visualización de gel con luz ultravioleta, finalmente se lleva con el reactivo (bromuro de etidio) y se obtienen los resultados...”*
- Conclusión: *“... donde de acuerdo con los valores emitidos por el simulador se puede decir que en el caso donde hubo mayor arrastre de gel fue en el primero en comparación con los otros casos”*

El estudiante 17 realiza una descripción de lo que llevó a cabo en el laboratorio más no da una fundamentación o justificación que aporten a la importancia de la técnica de electroforesis. Por lo que los datos y la conclusión elaboradas de manera simple le otorgan un nivel de argumentación 2. Es importante mencionar que los estudiantes situados en este nivel recaen en la descripción de lo realizado y no en un análisis argumentativo.

Bajo la competencia argumentativa, sus principios y los resultados en esta actividad, es esencial destacar que las dos primeras partes aportan al ítem de

conocimientos, mientras que la tercera y última parte de la actividad, integra habilidades y actitudes en pro a la articulación de lo aprendido y los conocimientos nuevos.

Después de darles a los estudiantes herramientas conceptuales es oportuno enfatizar en la apropiación a partir de espacios contextuales que potencialicen la competencia argumentativa y a su vez la relación y construcción de conceptos. Así, se da paso a la actividad 7.

8.2.7. Actividad 7: Exposiciones y uso de códigos

El uso de las cuestiones sociocientíficas en los espacios académicos en las últimas décadas, han sido una estrategia para el abordaje de las clases en ciencias con el fin de propiciar el desarrollo de las competencias. Así, una vez abordadas las 6 actividades anteriores los estudiantes, contaban con el conocimiento base para particularizar en la controversia de interés: enfermedad de las células falciformes que como padecimiento genético y su tratamiento con la terapia de CRISPR/Cas9.

Esta actividad se lleva a cabo en grupos de trabajo. En primera medida, se les facilita a los estudiantes 3 artículos (Anexo 3, p. 140) los cuales son expuestos en clase por los mismos. El primer artículo titulado “Estructura y función del ADN y de los genes I” (Martínez-Frías, 2010), resume todo lo aprendido hasta ahora y además de esto alude las diferentes mutaciones génicas existentes, esto lo exponen 4 grupos, cada grupo tiene títulos específicos; el segundo artículo titulado “Diagnóstico diferencial de las hemoglobinopatías” (Morales C. , 2016) lo presenta un único grupo, en donde se precisa el fenómeno de la hemoglobinopatía que causa la anemia de células falciformes y; el último artículo titulado: “Anemia Falciforme” (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006), lo exponen 3 grupos mencionando las características clínicas, las afectaciones globales y los tratamientos avalados por la OMS.

Para el análisis de la presente actividad, se transcribieron las grabaciones de las presentaciones de los estudiantes, tales transcripciones fueron llevadas al software de *ATLAS.ti* agrupadas por artículo; por ello, se presentan en la Tabla 10 los códigos más usados en el discurso por los estudiantes que les correspondió el primer artículo denominado *Estructura y función del ADN y de los. Tipos de alteraciones de la función del gen por mutaciones genes* (Martínez-Frías, 2010). Del mismo modo, la imagen 23 evidencia la frecuencia de los códigos a partir de una nube de palabras facilitada por el software mencionado.

Códigos	Descripción en el marco de la lectura
ADN	Ácido nucleico que contiene la información genética de los seres vivos y algunos virus.
Bases nitrogenadas	Compuestos orgánicos cíclicos destacados por su importancia en los ácidos nucleicos.
Exones	Parte de un gen que codifica una secuencia de aminoácidos.
Aminoácidos	Moléculas esenciales para el ser humano que en secuencia forma proteínas.
ARN	Ácido nucleico monocatenario que en su estructura contiene el azúcar ribosa y la base nitrogenada de uracilo de manera diferencial.
Puentes de hidrógeno	Fuerza electrostática que permite la unión del hidrógeno con elementos altamente electronegativos como lo son el oxígeno, el nitrógeno.
Proteína	Macromoléculas de secuencia de aminoácidos con diversas estructuras complejas.
Código genético	Conglomerado de triadas que definen la síntesis de aminoácidos a partir de nucleótidos.
Mutación génica	Cambio en la secuencia de nucleótidos de una cadena de ADN o ARN.
Gen	Fragmento de ADN que sintetiza proteínas.

Tabla 10. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 1. Actividad 7

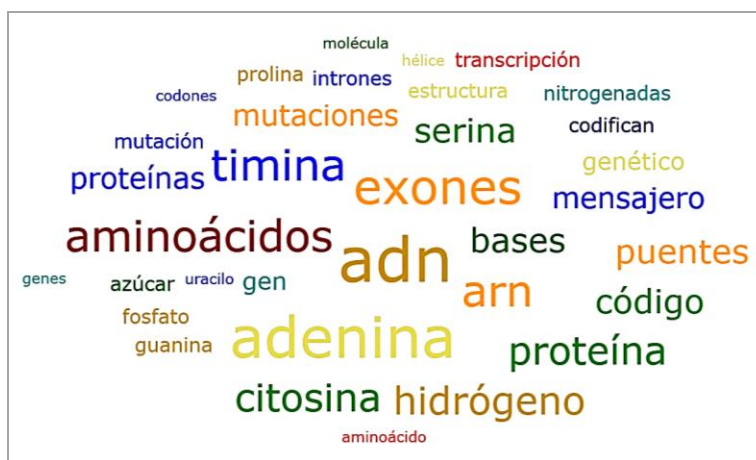


Imagen 23. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 1. Actividad 7

La imagen 23 muestra que los estudiantes en su discurso hicieron hincapié en el ADN donde este a su vez cuenta con una estructura de doble hélice que se da por la formación de puentes de hidrógeno entre las bases nitrogenadas de los nucleótidos. Por otra parte, a nivel de síntesis de la proteína, se evidencia la que la palabra *exones* se ubica dentro de las más frecuentadas, pues en el documento facilitado se logra articular la maduración del ARN para así sintetizar una determinada secuencia de aminoácidos. Finalmente, las palabras con un índice más bajo de frecuencia se expresan en torno a la codificación genética para la traducción del mensaje y la mutación que puede darse al cambiar un nucleótido.

Para el segundo artículo denominado *Diagnóstico diferencial de las hemoglobinopatías* (Morales, 2016), nuevamente se transcribe la exposición del grupo de trabajo y se lleva tal documento al software de *ATLAS.ti*, con la finalidad de obtener los códigos más frecuentes en el discurso de los estudiantes. A razón de esto, en la Tabla 11 se reflejan los códigos con una mayor frecuencia junto con su descripción que, de manera esquemática también son presentados en la nube de palabras correspondiente a la Imagen 24.

Códigos	Descripción en el marco de la lectura
Hemoglobina	Proteína característica de los glóbulos rojos que permite la oxigenación del organismo.
Métodos analíticos	Técnicas que permiten la identificación de elementos o composiciones.
Solubilidad	Capacidad de una sustancia de disolverse en otra
Variantes	Actualmente existen más de 1200 hemoglobinopatías variantes causadas por un cambio de aminoácido debido a mutaciones génicas.
Fisicoquímica	La variación del aminoácido en la síntesis de la hemoglobina puede alterar condicionar la solubilidad, estabilidad, afinidad de los glóbulos rojos.
Oxígeno	Elemento químico transportado por la proteína de hemoglobina en los organismos vivos.
Aminoácido	Moléculas esenciales para el ser humano que en secuencia forma proteínas.

Tabla 11. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 2. Actividad 7

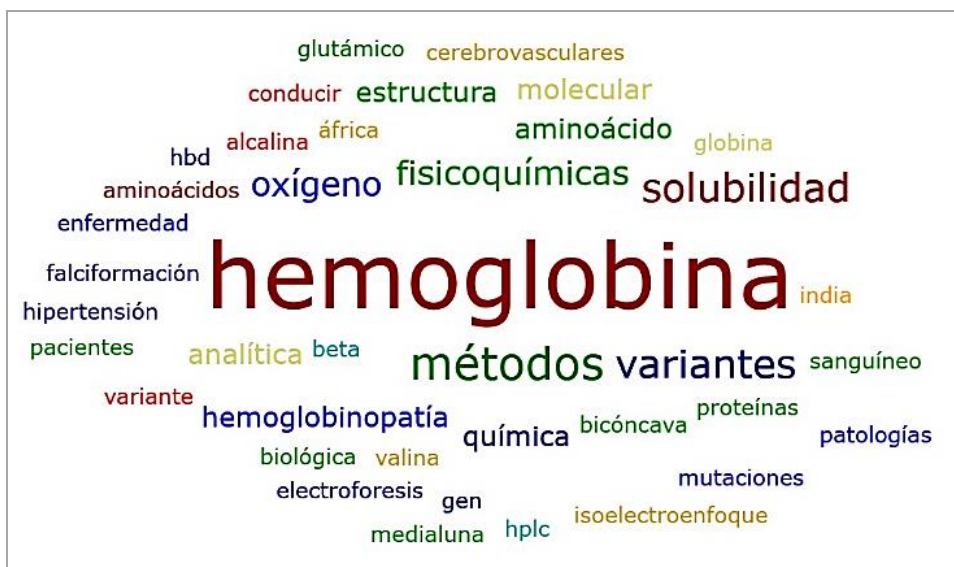


Imagen 24. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 2. Actividad 7

La imagen 24 demuestra la descripción que hicieron los estudiantes acerca de las hemoglobinopatías que afectan a una población considerable de África y la cual es determinada en los pacientes por métodos analíticos. Las variantes condicionan las características fisicoquímicas de los glóbulos rojos obstaculizando el transporte de oxígeno y dando paso a una afectación grave en los órganos. Dichas variantes han sido determinadas como enfermedades en las que se sufre un cambio en la síntesis de la proteína hemoglobina.

El último documento titulado *Anemia falciforme* (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006) permite a los estudiantes presentar la información encontrada en el archivo; lo que posibilitó la transcripción de lo expuesto por los grupos de trabajo. Se llevó entonces a *ATLAS.ti* lo transcrito para abordar un análisis como se realizó con los dos artículos anteriores. En la Tabla 12 se encuentran los códigos con mayor periodicidad en los discursos de los estudiantes, mientras que en la Imagen 25 se detalla la frecuencia con la que fueron usados estos.

Códigos	Descripción en el marco de la lectura
Anemia Falciforme	Trastorno hereditario en el que los glóbulos rojos adquieren forma de medialuna con baja flexibilidad y solubilidad imposibilitando el transporte de oxígeno.
Enfermedad	Alteración del estado fisiológico.
Tratamiento	Terapias con la finalidad de aliviar o curar determinadas enfermedades

África	País con mayor afectación por la anemia de células falciformes.
Muerte	Consecuencia de la falta de oxígeno a los órganos, en el caso particular de la anemia falciforme.
Niños	Población más afectada por la enfermedad de células falciformes
Eritrocitos	Células con mayor proporción en la sangre en los cuales se contiene la hemoglobina que da las características a los mismos.

Tabla 12. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 3. Actividad 7

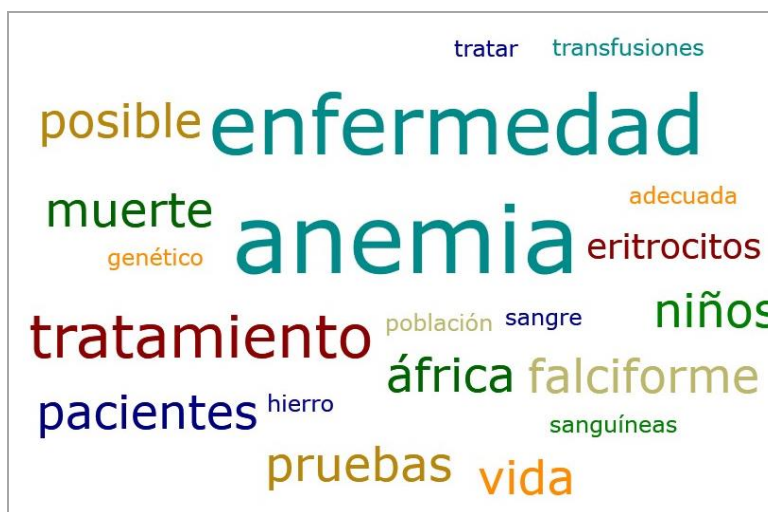
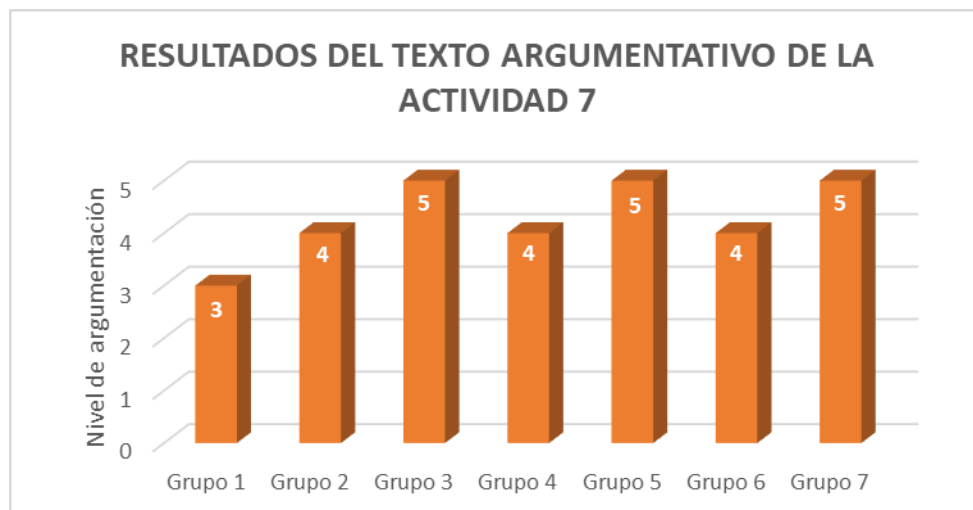


Imagen 25. Códigos con mayor frecuencia en la exposición del artículo 3. Actividad 7

Con lo anterior, es posible dilucidar que en las exposiciones de los estudiantes se enfatizó en la implicancia que tiene la anemia de células falciformes como una enfermedad que afecta a la población infantil de África en una alta proporción, considerándose una problemática de salud pública; en la que se cuentan con tratamientos que buscan extender la vida del paciente ya que no se cuenta con técnicas que curen tal enfermedad.

Una vez se realizaron las respectivas presentaciones en torno a los artículos, en grupos estudiantes debían construir un texto argumentando qué tipo de mutación se da en la anemia de células falciformes y si a partir de la biotecnología (técnica no avalada por la OMS) valdría la pena modificar el código genético como una posible cura de dicha enfermedad. Los resultados obtenidos se presentan en la gráfica 14.



Gráfica 14. Resultados de la evaluación del texto argumentativo en la actividad 7

Se destaca en la gráfica 14 que solo el grupo 1 se situó en el nivel 3 de argumentación, mientras que los grupos 2, 4 y 6 lograron hacer uso de la refutación y los cualificadores modales como elementos fundamentales en el nivel 4 de argumentación. Los grupos 3, 5 y 7 hicieron uso de todos los criterios para poder ubicarlos en el nivel más alto.

Como ejemplo, se precisa en el grupo 1 y su respuesta con los respectivos elementos de la argumentación expuestos por Toulmin (2003):

- Dato: *“La alteración del código genético en la transcripción de ADN y traducción del ARN se pueden ver reflejada en la malformación de las células...”*
- Justificación: *“...ya que ocurre una mutación que provoca la anemia falciforme debido a que en el codón 6 después del codón de iniciación se reemplaza una valina por el ácido glutámico en la hemoglobina...”*
- Conclusión: *“...Por tanto, esta enfermedad tiene un gran impacto donde los síntomas pueden aliviarse a través de modificación de genes para curar la enfermedad.”*

El grupo 1 parte de datos de la alteración del ADN; justificando que conlleva a enfermedades por el cambio de un aminoácido en la síntesis de una proteína y; concluye, que la terapia genética puede ser una alternativa. Sin embargo, se descartó el fundamento teórico expuesto por los estudiantes y las refutaciones de tipo crítico lo cual incide directamente en el desarrollo de habilidades y actitudes de la competencia argumentativa, pues se toma una postura frente a las premisas iniciales y se dan exclusiones que fortalecen el argumento (Tamayo, 2011). Empero, se muestra un manejo disciplinar pues se comprende el Dogma Central de la Biología Molecular con la transcripción y traducción enunciada en el Dato.

Según la gráfica 14 se categoriza al grupo 7 en un nivel de argumentación 5 y esto se deba al uso de todos los elementos de la argumentación que se han venido

presentando. En consecuencia, se presenta inmediatamente la respuesta argumentada por el grupo 7:

- Dato: *“La anemia falciforme deriva de la mal formación de los eritrocitos e influencia de la ausencia de oxígeno a la sangre, esta condición genera la muerte temprana de niños ya que los eritrocitos quedan atrapados en el bazo...”*
- Justificación: *“... ya que, los niños específicamente a menudo sufren de múltiples y fuertes dolores que provocan tumefacción, necrosis ósea o crisis súbitas...”*
- Fundamento teórico: *“... teniendo en cuenta la información anteriormente presentada la anemia falciforme es causada por mutaciones en el gen HBB, lo cual indica es hemoglobina S debido a que se muta el gen Glu6Val. estos casos de anemia falciformes son explicados por la presencia de copias de hemoglobina S, o bien sea, por la presencia de una copia de hemoglobina S que se heredó con otra forma que presenta también anomalías procedentes de la Beta Globina, como por ejemplo la hemoglobina SC...”*
- Conclusión: *“... Por tanto, para reducir su incidencia esto se puede tratar con penicilina y con una buena hidratación. Su tratamiento depende de un buen manejo con ácido fólico, hidratación y una buena prevención prenatal con pruebas genéticas...”*
- Cualificador Modal: *Reducir incidencia*
- Refutación: *“... A menos que, se aplique la terapia genética que por medio de la biotecnología tiene sus implicaciones, pero de ser controlada y hacia beneficio de la especie en cuestión es muy importante para evitar enfermedades prematuras y con poco prospecto de vida.”*

Los participantes del grupo 7 integran todos los elementos del nivel de argumentación 5, pues se tiene en cuenta la fundamentación teórica, refutaciones y cualificadores modales en comparación con el grupo 1. Es importante precisar que la mejora en el nivel de argumentación se le atribuye al uso de la controversia (Tamayo, 2011) de la modificación genética para el tratamiento de la anemia falciforme actual debido a que realizar cambios en un gen podría incidir en la síntesis de múltiples proteínas (Martínez-Frías, 2010), lo cual ha generado debates éticos, morales y sociales ya que se podrían generar de nuevas mutaciones y enfermedades.

Ahora bien, con el fin de identificar si hubo o no una construcción y relación de conceptos con las exposiciones y los textos argumentativos; se relacionaron los niveles de argumentación otorgados a cada grupo (Gráfico 9) con los códigos con mayor frecuencia encontrados en las exposiciones (Tabla 10, 11 y 12). Dicha correlación se realizó en el software SPSS en cual facilitó los resultados expresados en la Tabla 13.

			Cantidad de codigos utilizados	Nivel de argumentación
Tau_b de Kendall	Cantidad de codigos utilizados	Coefficiente de correlación	1,000	,751*
		Sig. (bilateral)	.	,038
		N	7	7
	Nivel de argumentación	Coefficiente de correlación	,751*	1,000
		Sig. (bilateral)	,038	.
		N	7	7
Rho de Spearman	Cantidad de codigos utilizados	Coefficiente de correlación	1,000	,829*
		Sig. (bilateral)	.	,021
		N	7	7
	Nivel de argumentación	Coefficiente de correlación	,829*	1,000
		Sig. (bilateral)	,021	.
		N	7	7

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 13. Correlación en SPSS. Actividad 7

Se llevan a cabo las pruebas de correlación de Kendall y Spearman para los dos momentos de la actividad 7, estas pruebas permiten medir “la intensidad de una relación entre dos variables” (Morales y Rodríguez, 2016). En consecuencia, se relacionaron los códigos encontrados en las exposiciones, lo cual se realizó con el software de *ATLAS.ti*, con los niveles de argumentación evaluados bajo el modelo de Toulmin (2003). Encontrándose una correlación entre las dos variables debido a que el nivel de significancia en las dos pruebas es inferior a 0,05; donde para la prueba de Kendall es igual a 0,038 y para Spearman es de 0,021; con un nivel de confianza entre los datos de un 95%.

De la tabla 13 también se puede inferir que al contar con coeficientes de correlación positivos (0,751 y 0,829) y; que, toda vez que los valores superen el 0,6 se puede considerar una correlación *Muy Significativa* entre las variables en estudio, como sucede en la presente.

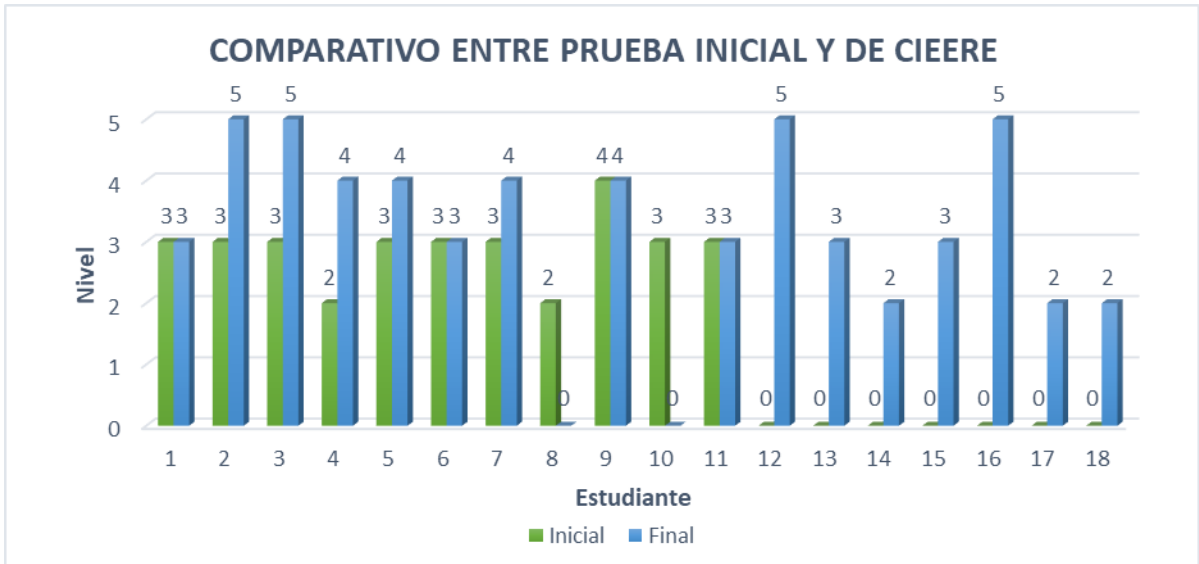
Ahora bien, se analizaron cada una de las actividades del PGA, se busca analiza la prueba de cierre que posibilita la comparación del estado inicial y final de los estudiantes.

8.3. Prueba de cierre

Con la finalidad de evaluar la eficacia del PGA frente al desarrollo de la competencia argumentativa y la construcción de conceptos bioquímicos en el marco del código genético, se diseñó una prueba de cierre, en la cual los estudiantes debían ver un documental en el que se enuncia la problemática de salud pública que existe actualmente con la enfermedad de células falciformes y un sinnúmero de mutaciones génicas. En el documental denominado Human Nature (Bolt y Piyadarakorn, 2019), se muestra como solución el uso de CRISPR/Cas9 y su funcionamiento en el tratamiento de enfermedades, sin embargo, también

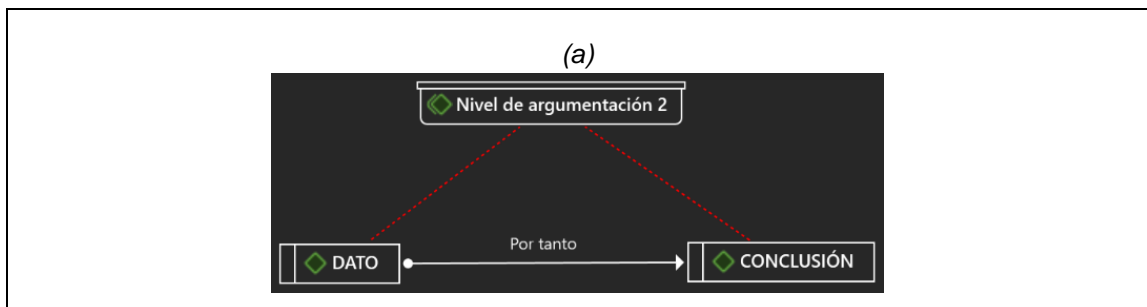
enuncian los debates éticos que existen hoy en día en torno a modificar genéticamente a los humanos. Con ello, los estudiantes debían argumentar: *¿qué consecuencias a largo plazo podría tener el uso de CRISPR/Cas9 en la erradicación de enfermedades hereditarias, tales como la enfermedad de células falciformes?* Lo anterior como primera parte de la presente prueba.

En este sentido, se tiene en cuenta la mediana obtenida en la prueba inicial de cada uno de los estudiantes y el nivel de argumentación derivado de la primera parte del cierre, debido a que la primera parte de la presente prueba está enmarcada en una única respuesta argumentada; dichos resultados se presentan en la gráfica 15 denotando que ningún estudiante decreció en el nivel de argumentación, por el contrario, de 18 estudiantes 12 aumentaron su nivel. Como evidencia de ello, se presentan los resultados de un estudiante que mostró una creciente en su nivel (E4) y uno que se mantuvo (E6).



Gráfica 15. Resultados comparativos del instrumento inicial respecto a la prueba de cierre.

El estudiante 4 en la prueba inicial contaba con los valores más bajos del nivel de argumentación respecto a las respuestas de todo el grupo y por tanto es menester destacar su paso de un nivel de argumentación 2 a uno de 4. En virtud de ello, en la Imagen 26 se presentan los resultados de la prueba inicial y la final.



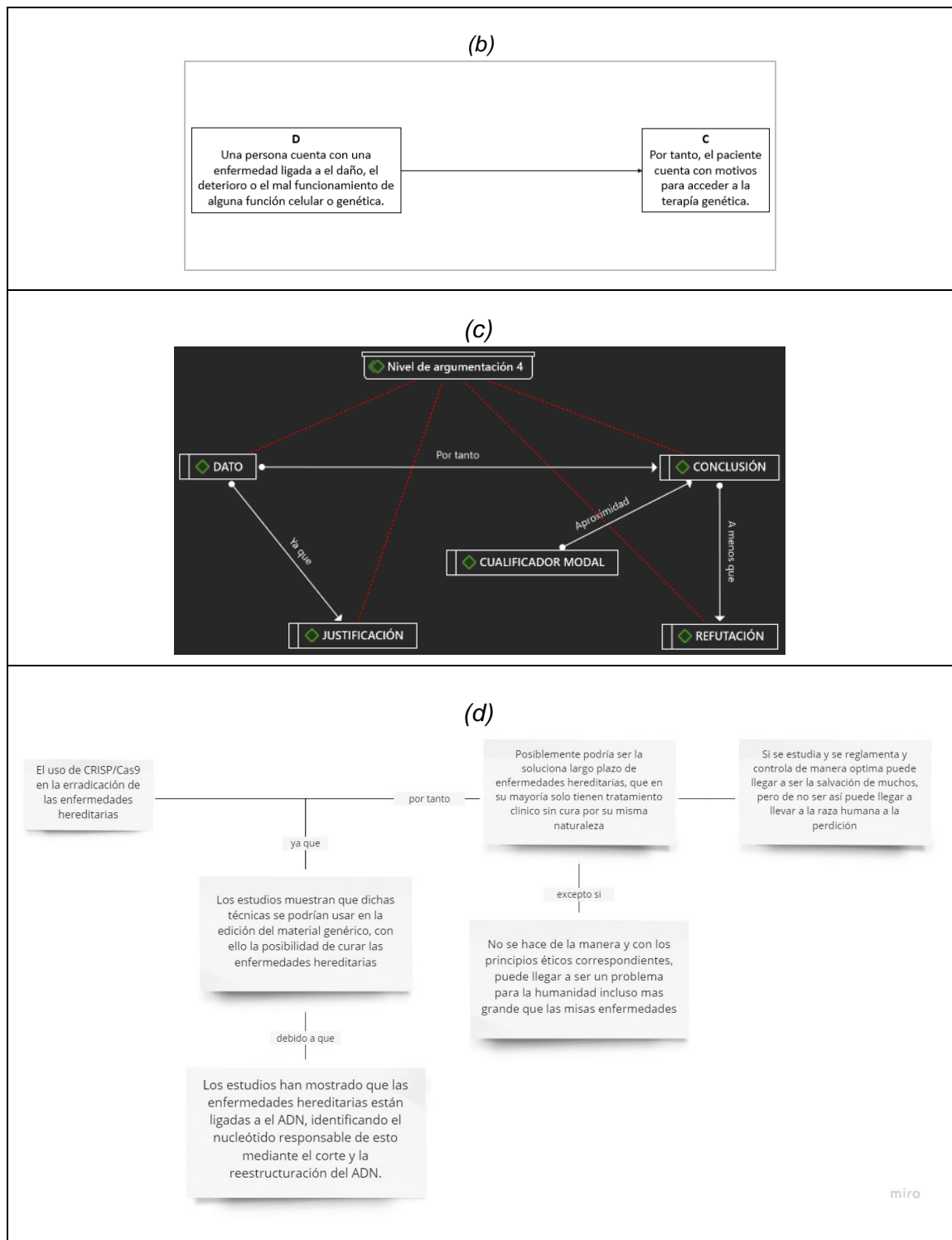


Imagen 26. Resultados del E4. Prueba diagnóstica y Prueba de cierre

Nota: La Imagen 26. (a) y (c) muestran las redes construidas a partir de ATLAS.ti, en las que se indican los elementos que concierne al nivel de argumentación 2 y 4 respectivamente y lo cual termina siendo una representación del modelo propuesto por Toulmin (2003). La Imagen 26. (b) detalla la respuesta de la pregunta 3 del instrumento inicial. La imagen 26. (d) detallan la respuesta dada por el E4 en la prueba de cierre.

En la Imagen 26 (b) el estudiante parte del dato de que una persona cuenta con una enfermedad génica e inmediatamente concluye que la misma cuenta con motivos para acceder a la terapia génica, ignorando todo lo que conlleva la intervención de modificación de los ácidos nucleicos contenidos en el organismo. Sin embargo, una vez aplicado el PGA se denota una mejora en su argumentación la cual es analizada bajo los criterios expuestos por Toulmin (2003) y la competencia argumentativa presentada por Guzmán, Flores y Tirado (2013).

Toulmin (2003) manifiesta la importancia de la justificación de los datos, pues permite darle mayor fuerza al argumento; también, este menciona el uso fundamental de refutaciones como exclusiones que consideran una postura por parte del escritor y una interiorización de los contenidos científicos; asimismo, el uso de fundamentos teóricos da validez debido al uso de conceptos o premisas que pretenden explicar la justificación y a su vez el dato con el que inicia.

No obstante, el E4 parte del “uso de CRISPR/Cas9 en las personas con enfermedades hereditarias, ya que existen estudios en los cuales se comprueba que la modificación génica puede erradicar tales enfermedades.”. Hasta este momento el estudiante ha datado y justificado y pretende acceder al respaldo teórico con la finalidad de dar mayor fuerza al argumento, pero recae en la redundancia enunciando el CRISPR/Cas9, siendo incipiente la fundamentación respecto a la justificación establecida (Tamayo, 2011). Ahora bien, el estudiante 4, hace uso de Cualificadores Modales tales como: *Posiblemente*. Del mismo modo, muestra una Exclusión desde la controversia del uso de la modificación génica en humanos, con lo cual concluye que, *la terapia génica puede salvar vidas, pero a su vez afectar a la raza humana en términos éticos*. Con todo lo anterior, el estudiante se posiciona en un nivel 4 de argumentación.

En la competencia argumentativa es imprescindible la evaluación de los 3 elementos que la integran (conocimientos, habilidades y actitudes). Dentro de la respuesta obtenida por el E4, se observa el manejo de (a) conocimientos desde el uso de conceptos disciplinarios abordados en el PGA como lo son el ADN, la importancia de los nucleótidos que la componen, las mutaciones que generan enfermedades como la anemia de células falciformes y el funcionamiento del CRISPR/Cas9 desde la síntesis de ARN.

Guzmán, Flores, y Tirado (2013) manifiestan que, las (b) habilidades a la hora de construir un argumento son cuatro: enunciar una posición, mostrar evidencias, elaboración y organización de ideas y, la presencia de contraargumentos o refutaciones; así, bajo el análisis de la respuesta dada por el estudiante 4 en la prueba de cierre, este enuncia una postura ya que está de acuerdo con el uso de la terapia génica siempre y cuando se establezcan límites éticos; además; también, hay una organización de ideas, que se presentan bajo el diseño del modelo de Toulmin (2003); se carece de evidencia, pues el estudiante 4 expresa que existen estudios, pero los mismos no se dan a conocer en la argumentación

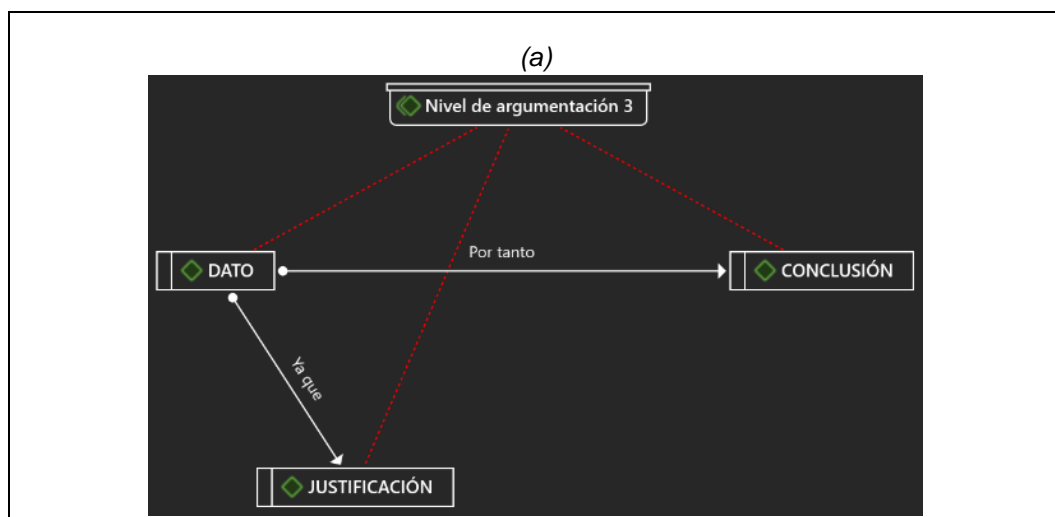
y; la presencia de refutaciones, es evidente que se dan bajo la exclusión ética, moral y social al enunciar que no se debe modificar genéticamente para fines propios.

Finalmente, en términos del elemento de (c) actitudes, el estudiante 4 cuenta con características de interacción al ejercer una postura en acuerdo con la terapia genética, pero con limitantes en su uso.

El desarrollo de la competencia argumentativo es notorio, pues mientras más se integren elementos del modelo de Toulmin se manifiesta una mejor competencia argumentativa como se ilustra con el estudiante 4.

Por otro lado, se realiza el mismo análisis al estudiante 6. La Imagen 27 (b) muestra el uso de datos en *el que se expresa la importancia de un protocolo el cual garantice al paciente las pruebas previas a él*; Justificando que de lo contrario se puede recaer en otro tipo de complicaciones; con lo cual Concluye que el paciente cuenta con motivos para acceder o rechazar la terapia genética. Sin embargo, se carece de fundamentación teórica, proximidad y contraargumentos como ocurre nuevamente en la prueba de cierre.

En la Imagen 27 (c) el estudiante 6 parte del dato de lo que puede llegar a hacer el CRISPR/Cas9, justificando desde su funcionamiento y concluyendo en el acuerdo de la aplicación de la modificación genética para enfermedades hereditarias. No obstante, bajo los criterios de Toulmin (2003) el argumento termina siendo débil, pero a su vez muestra coherencia y concordancia con lo abordado en las clases y lo presentado en el documental. En tal sentido, dio “argumentos en los cuales no se encuentran justificaciones sólidas desde campos conceptuales específicos, ni confrontaciones entre diferentes puntos de vista en el proceso de construir el argumento” (Tamayo, 2011). Con lo anterior se sitúa al estudiante en un nivel de argumentación 3.



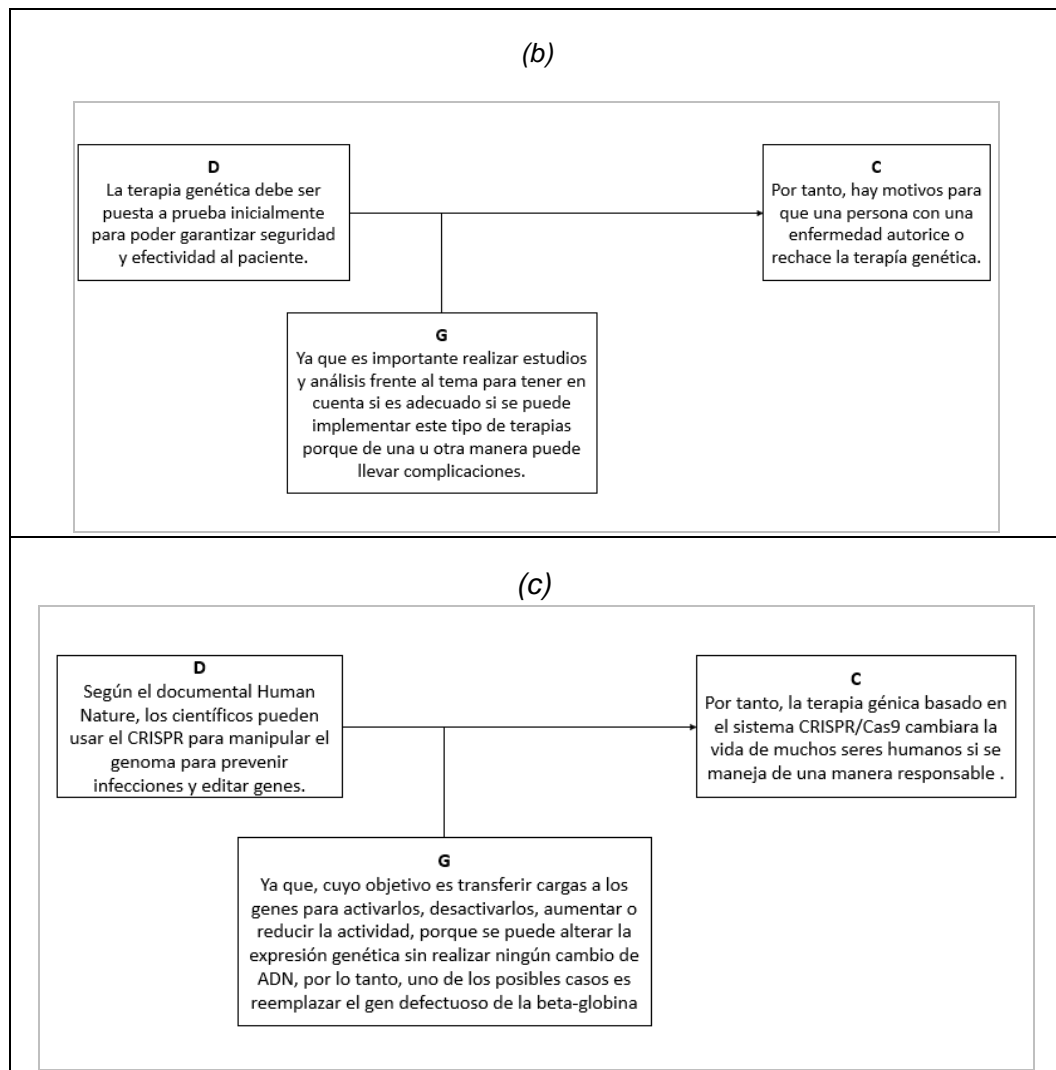


Imagen 27. Resultados del E6. Prueba diagnóstica y Prueba de cierre

Nota: La Imagen 27. (a) muestra la red construida a partir de ATLAS.ti, en la que se indican los elementos que conciernen al nivel de argumentación 3 y lo cual termina siendo una representación del modelo propuesto por Toulmin (2003). La Imagen 27. (b) detalla la respuesta de la pregunta 3 del instrumento inicial. La imagen 27. (d) detallan la respuesta dada por el E6 en la prueba de cierre.

Bajo la competencia argumentativa en las respuestas obtenidas por el estudiante 6, se observa: conocimientos: puesto que, se presenta un manejo disciplinar por parte del estudiante en el cual la comprensión de la terapia genética CRISPR/Cas9 otorga la necesidad de saber la estructura y funcionamiento de los ácidos nucleicos en el organismo. Para las habilidades: se carece de una postura crítica en acuerdo o desacuerdo de la biotecnología para la modificación genética; también se identifica la falta de evidencias y refutaciones y, sin embargo, se da un orden en las ideas con el uso del esquema del modelo de Toulmin (2003). En términos del elemento de actitudes: el estudiante 6 no cuenta con características de interacción al no ejercer una postura crítica frente a la terapia genética.

Por otro lado, en la segunda parte de la prueba de cierre, los estudiantes debían elaborar un mapa conceptual en pro de considerar la construcción de conceptos con la aplicación del PGA. Cabe mencionar que, los mapas conceptuales fueron evaluados bajo los criterios establecidos por Rodríguez (2017) y detallados en su trabajo doctoral titulado “*El aprendizaje significativo de conceptos químicos, un estudio en el contexto de la resolución de problemas y estilos de aprendizaje*”, mismos criterios mencionados en el marco conceptual y en el análisis de la actividad 2 del PGA. En este sentido, se presenta el mapa conceptual referencial en la Imagen 28, donde se hizo uso de los 8 conceptos brindados a los estudiantes (CRISPR/Cas9, terapia genética, enfermedades hereditarias, anemia de células falciformes, ADN, ARN, resistencia y trasplante) y se integraron los conocimientos abordados a lo largo de la aplicación del PGA, junto con los del documental.

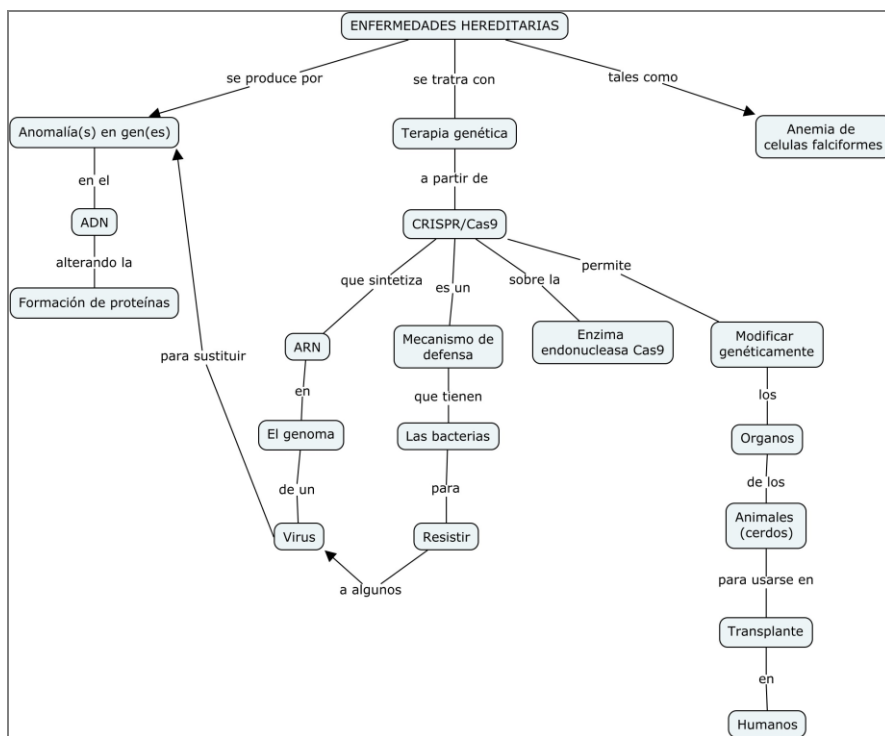
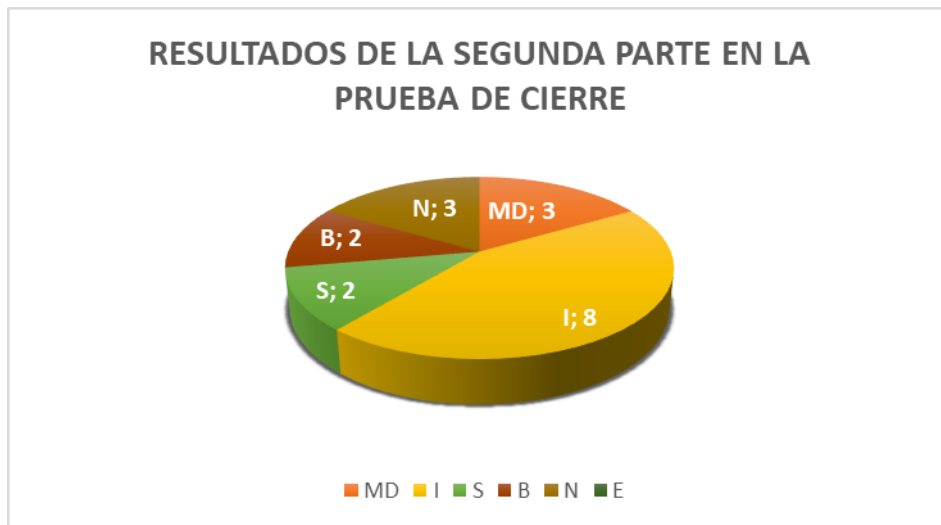


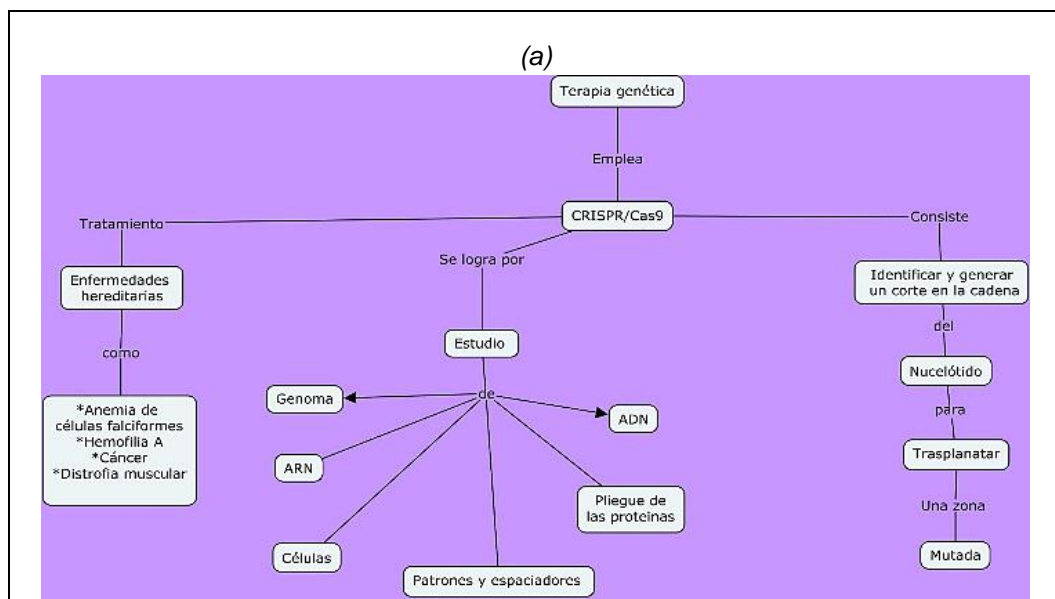
Imagen 28. Mapa conceptual referencial de prueba de cierre.

Dada la complejidad del mapa conceptual presentado como referente, los estudiantes llevaron a cabo estructuras metacognitivas sencillas de tal modo que en la gráfica 16; 8 de los 18 estudiantes se ubican en la categoría de *Insuficiente*; 3 en el grado de *Muy deficiente*; 2 en *Suficiente*; 1 en *Bueno* y; 4 en notable. Para contemplar con mayor proximidad los resultados de la segunda parte, se dan a conocer los mapas conceptuales del E5 y E17 con sus respectivas matrices.



Gráfica 16. Resultados generales de la parte 2 de la prueba de cierre

La valoración final del mapa conceptual del estudiante es dependiente al referencial, por ello y otras falencias encontradas, la valoración para el estudiante 5 (Imagen 29) está dentro de la población de *Notable*, pues, el E5 no hace uso de los 8 términos establecidos y uno de los 7 conceptos utilizados pierde validez (anemia de células falciformes) debido a que no está en un concepto sino contiene sobre carga de éstos. Del mismo modo, para uno de los conceptos propuestos por el estudiante (Identificar y generar un corte en la cadena) este no llega a ser válido por la saturación que contiene.



(b)

ESTUDIANTE 5	
CATEGORÍA	PUNTAJE
Número de conceptos propuestos utilizados (NCPU)	14
Número de conceptos propuestos válidos (NCPV)	24
Valoración jerárquica (VJ)	5
Número de proposiciones válidas (NPV)	36
Número de relaciones cruzadas válidas (NRCV)	24
Número de conceptos nuevos válidos (NCCNV)	12
Número de proposiciones erradas (NPE)	0
Puntaje total (PT)	115
Puntaje total de referencia (PTR)	163
Valoración (V)	7,1
Valoración asignado según rango (VA)	3,5

Imagen 29. Resultados del E5. Prueba de cierre.

Nota: La Imagen 29. (a) el mapa conceptual del estudiante 5 y; en la imagen 29 (b) se muestra la matriz resultante de la evaluación del mapa conceptual en la prueba de cierre.

Para evaluar el contenido del mapa conceptual propuesto por el estudiante 5, se contempla el CRISPR/Cas9 como una terapia genética que logra ofrecer un tratamiento para los pacientes con enfermedades de anemia de células falciformes, hemofilia, cáncer, entre otros; además se da especificidad a los conceptos estudiados para la terapia mencionada. Sin embargo, el estudiante elude el corte característico del CRISPR como el trasplante de un nucleótido en una zona mutada, lo cual es errado debido a que si bien se realiza un corte en la zona mutada la cual es identificada por la síntesis de un ARN, este únicamente realiza el corte y la célula por sí misma da la complementariedad de los nucleótidos faltantes (Lammoglia-Cobo, y otros, 2016).

Por otro lado, si se detalla en el mapa conceptual elaborado por el estudiante 17 (Imagen 30) el cual se encuentra en la población de *Insuficiente*, es pertinente destacar sus aciertos y errores en la estructura de la herramienta metacognitiva. El estudiante no hace uso de los 8 conceptos facilitados y de los que hace uso, solo 3 son válidos debido a que en determinados cuadros se observa más de un concepto. Del mismo modo, para el uso de proposiciones se cuentan como válidas solo 3 que acompañan a los conceptos y no a las descripciones extensas que hace el estudiante. No se identifican relaciones cruzadas y solo 2 conceptos son nuevos y válidos.

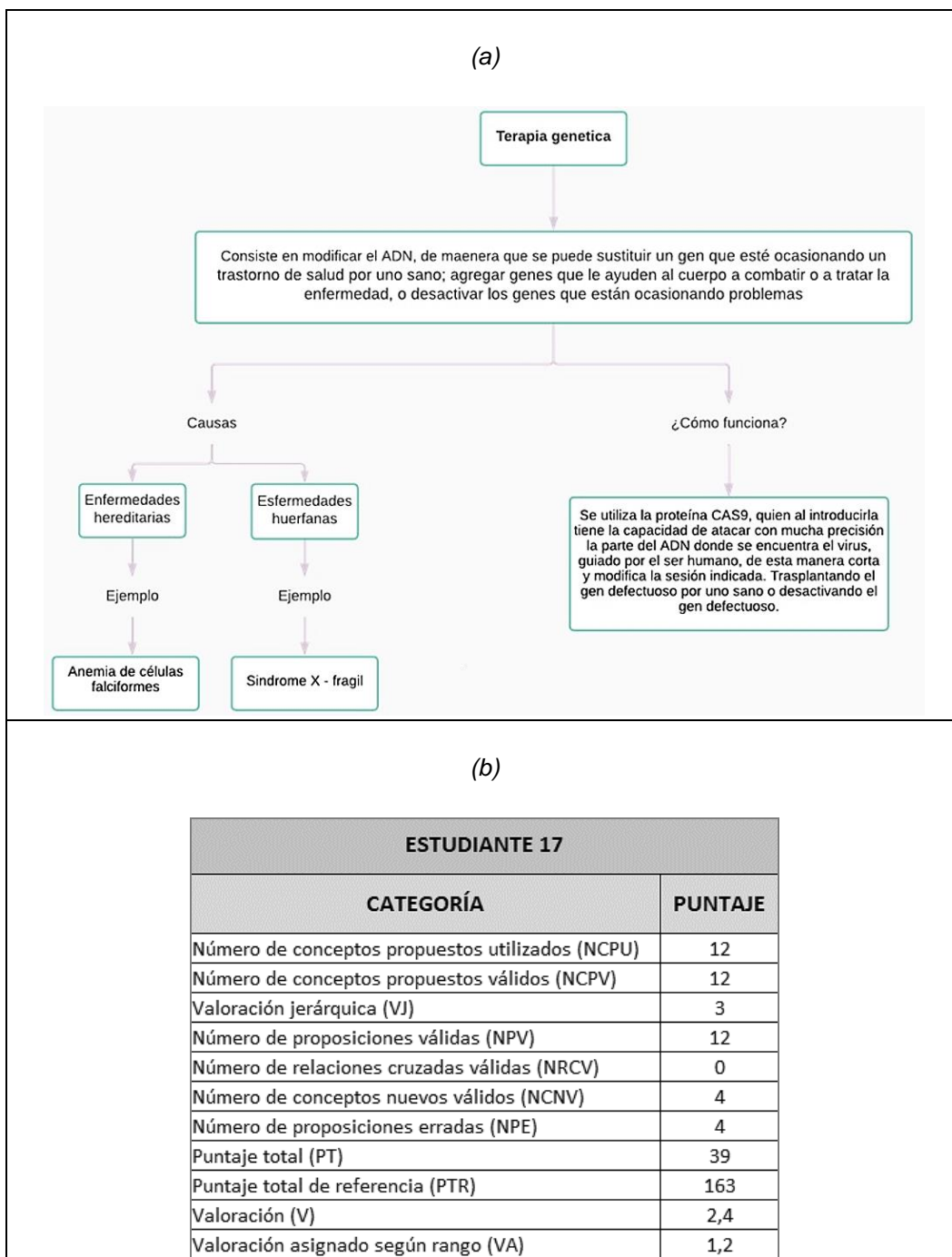


Imagen 30. Resultados del E17 en la Prueba de cierre.

Nota: La Imagen 30. (a) el mapa conceptual del estudiante 17 y; en la imagen 30 (b) se muestra la matriz resultante de la evaluación del mapa conceptual en la prueba de cierre.

En términos de contenido y no de estructura, el estudiante expresa que los genes son agregados, empero el CRISPR/Cas 9 busca realizar modificaciones más no agregaciones genéticas y; tampoco, se da exclusivamente con los virus (Lammoglia-Cobo, y otros, 2016).

Para los estudiantes que al igual que el E17 se categorizaron en el grado de *Insuficiente* es necesario resaltar que la mayoría hizo uso de los 8 conceptos planteados en la prueba, sin embargo, el uso de estos no garantiza su validez, pues los conceptos de trasplante y resistencia en la gran mayoría de los casos fueron ubicados sin relaciones coherentes; ya que la terapia genética no consiste en *trasplantar* un fragmento de ADN y esto a su vez no brinda *resistencia* a enfermedades hereditarias, debido a que la modificación genética no se ejecuta en embriones y por tanto un cambio en el ADN de un paciente no garantiza que sus descendientes no padezcan su enfermedad.

Una vez analizadas la segunda parte de la actividad de cierre, fue oportuno integrar la relación el mapa conceptual de la actividad 2 del PGA con el de la prueba de cierre, lo cual se lleva a cabo con ayuda del software *SPSS* donde se realizaron las pruebas de Kendall y Spearman especificadas en correlaciones no paramétricas.

Correlaciones

			Mapa conceptual de la actividad 2 (PGA) con conceptos básicos	Mapa conceptual de prueba de cierre
Tau_b de Kendall	Mapa conceptual de la actividad 2 (PGA) con conceptos básicos	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1,000 . 18	,455** ,010 18
	Mapa conceptual de prueba de cierre	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	,455** ,010 18	1,000 . 18
Rho de Spearman	Mapa conceptual de la actividad 2 (PGA) con conceptos básicos	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1,000 . 18	,686** ,002 18
	Mapa conceptual de prueba de cierre	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	,686** ,002 18	1,000 . 18

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 14. Correlación en SPSS de mapa conceptual de la actividad 2 (PGA) y Prueba de cierre

En consecuencia, se relacionaron los resultados de los mapas conceptuales de la actividad 2 frente a los de la prueba de cierre, los cuales fueron evaluados bajo los criterios establecidos por Rodríguez (2017). Encontrándose una correlación entre las dos variables debido a que el nivel de significancia en las dos pruebas es inferior a 0,01; donde para la prueba de Kendall es igual a 0,010 y para Spearman es de 0,002; con un nivel de confianza entre los datos de un 99%.

De la tabla 14 también se puede inferir que al contar con coeficientes de correlación positivos (0,455 y 0,686) y; que, toda vez que los valores superen el

0,4 se puede considerar una correlación Significativa entre las variables en estudio, como sucede en la presente.

Finalmente, como un análisis general se precisa en las actividades 4, 6 y 7 en las cuales se evidencia un mayor incremento en el nivel de argumentación en los estudiantes; además, la prueba de cierre dio cuenta de que el abordaje de las cuestiones sociocientíficas mejora la competencia argumentativa (Tamayo, 2011) debido a la postura crítica y el interés que se despierta en los estudiantes. Por tanto, se resalta que el uso de los programas guías de actividades inciden de manera positiva en la competencia argumentativa en los estudiantes en ciencias.

9. CONCLUSIONES

La CSC de la modificación genética articulada en el diseño de un Programa Guía de Actividades influyó de manera positiva en el desarrollo de la competencia argumentativa ya que se abordaron aspectos bioquímicos que brindaron una conceptualización para luego, relacionarla con problemáticas sociales, éticas y morales; los estudiantes incrementaron el nivel de argumentación con el uso de refutaciones y fundamentaciones teóricas que potencializaron las habilidades y actitudes de la competencia. El uso de herramientas metacognitivas tales como los mapas conceptuales y los mentefactos permite evaluar el nivel de construcción y relación de conceptos en torno al Dogma Central de la Biología abordado desde la modificación genética como controversia.

En estudiantes del ciclo de profundización de la Licenciatura en química se identificó el nivel de desarrollo inicial de la competencia argumentativa con la aplicación del instrumento de entrada; donde el uso de datos y conclusiones con premisas sencillas dieron cuenta del bajo nivel de argumentación con el que contaba la población objeto de estudio y del poco cuestionamiento hacía la ciencia, debido a la ausencia de refutaciones y posturas críticas en los textos de los estudiantes.

Los resultados de la prueba de cierre se compararon con la prueba de entrada para determinar el nivel de argumentación final en los estudiantes. Se estableció que, si bien 4 de los 18 estudiantes no mejoraron su nivel, se mantuvieron; esto se atribuye a limitaciones propias de la investigación, tales como aspectos psicológicos de los estudiantes que no fueron considerados en esta investigación. No obstante, se destacan los estudiantes que aumentaron su nivel de argumentación haciendo uso de datos, justificaciones, respaldos teóricos, cualificadores de proximidad, refutadores y conclusiones.

Se estableció una correlación no paramétrica con la aplicación de las pruebas estadísticas de Kendall y Spearman, con resultados significativamente positivos en cuanto a la construcción de conceptos. Dicha correlación se estableció para la prueba de cierre y la actividad 2 del PGA. Esto aporta a la eficacia de la estrategia diseñada en la construcción de conceptos bioquímicos en el marco del código genético.

Las cuestiones sociocientíficas permiten abordar temas controversiales, tales como la manipulación genética, que por su naturaleza resultan ser debatibles en los espacios académicos y por tanto, permiten que los estudiantes identifiquen la necesidad de documentarse, con el fin de fortalecer la competencia argumentativa en sus 3 principios.

La anemia de células falciformes es una enfermedad generada por una mutación génica, la cual puede ser tratada con terapia genética a partir del uso del

CRISPR/Cas9. Esto genera debates debido a que la modificación de un gen puede alterar la síntesis de otras proteínas diferentes a la hemoglobina y producir nuevas enfermedades. Por tanto, la controversia desde aspectos éticos, morales y sociales propició la construcción de conceptos y el nivel de argumentación en los estudiantes, despertando el interés desde las implicaciones que tienen estas prácticas clínicas.

10. RECOMENDACIONES

Se sugiere hacer uso de las CSC con temáticas como la modificación genética, en las que se lleven a cabo actividades con dificultad creciente que no solo propicien y evalúen la competencia argumentativa desde la construcción de textos, sino que también se evalúe desde espacios debatibles, plenarias y/o elaboración de productos audiovisuales encaminados al tratamiento de enfermedades génicas mediante el CRISPR/Cas9. En el que el estudiante demuestre sus saberes en espacios abiertos y dialógicos.

Se recomienda para futuras investigaciones en educación recopilar información donde los estudiantes aplique todas y cada una de las actividades para que el análisis se pueda realizar de forma individual y procesual, sin la falta o pérdida de datos.

Es importante implementar herramientas metacognitivas, tales como mentefactos y mapas conceptuales en próximas investigaciones, con las cuales se relacionen la construcción y relación de conceptos evitando vacíos teóricos en la población objeto de estudio.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, H., Chávez, M., Trubnykova, M., La Serna-Infantes, J., & Poterico, J. (2018). Factores de riesgo en las enfermedades genéticas. *SciELO Perú*, 43-50.
- Acevedo, J. A., Vázquez, Á., Martín, M., Oliva, J. M., Acevedo, P., Paixão, M. F., & Manassero, M. A. (2005). Naturaleza De La Ciencia Y Educación Científica Para La Participación Ciudadana. Una Revisión Crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 121-140.
- Achury, L. C., & Álvarez Hoyos, J. (2015). Desarrollo de la competencia argumentativa a través de la toma de decisiones en el abordaje de la cuestión sociocientífica: uso y comercialización del PVC. *Revista Góndola. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*, 56-72.
- Argundín, Y. (2015). Educación basada en competencias. *Revista Magistralis. Universidad Iberoamericana Puebla*, 39-61.
- Arias Hodge, I. X., & Dallagnol Frison, M. (2016). Abordaje de Cuestiones Sociocientíficas: una alternativa para trabajar la interdisciplinariedad y vivenciar interacciones CTSA. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis. TED. Universidad Pedagógica Nacional*, 1319-1330.
- Arroyo Cruzado, G. (2014). Crónica sobre el impacto de la tecnología del ADN en las ciencias forense. *Revista Umbral, Universidad de Puerto Rico* , 107-127.
- Benavides, F. J., & Jean-Louis, G. (2004). *Manual de Genética de Roedores de Laboratorio: Principios Básicos y Aplicaciones*. Texas: Universidad de Alcalá de Henares. Servicio de Publicaciones.
- Bernache Maldonado, F. (2019). Conceptos y esquemas en la argumentación. *Revista Sincronía. Universidad de Guadalajara*, 105-127.
- Blaustein, S. (1 de Julio de 2011). *Ácidos nucleicos: ADN y ARN*. Obtenido de Educa.ar sociedad del estado: https://cdn.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__cc72f146-c851-11e0-825f-e7f760fda940/index.htm
- Bolt, A., & Piyadarakorn, N. (Dirección). (2019). *Human Nature* [Película].
- Brandan, N., Aguirre, M. V., Llanos, I. C., & Rodríguez, A. (2011). *Conceptos de genética*. Obtenido de Facultad de Medicina. Universidad Nacional del Nordeste:

<https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/Carrera-Medicina/BIOQUIMICA/gen07.pdf>

- Burriel Coll, V. (2008). *Estructura y propiedades de los ácidos nucleicos*. Obtenido de Universidad de Valencia: https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/AcidosNucleicos_veronica.pdf
- Campo Erazo, Y. F., & Rivera Gómez, D. A. (2020). Las cuestiones sociocientíficas (CSC) como estrategia para el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico con estudiantes de licenciatura en ciencias naturales y educación ambiental de la universidad del Cauca. *Electrónica EDUCYT*, 419-430.
- Carbó Mena, L. O. (Marzo de 2021). *Anemia de células falciformes: Una revisión*. Obtenido de Centro Nacional de genética Médica. Universidad De Ciencias Médicas De La Habana Instituto de Ciencias Básicas y Preclínicas "Victoria de Girón": <https://instituciones.sld.cu/cngm/files/2021/03/pdf-9.pdf>
- Cárdenas Arévalo, C. I., & Zúñiga González, L. (2016). *Programa Guía de Actividades para el aprendizaje significativos de conceptos relacionados con las propiedades de los elementos químicos*. Obtenido de Repositorio Universidad Pedagógica Nacional.
- Castaños, E. (20 de Julio de 2015). *Estructura y tipos de ARN*. Obtenido de Biomoléculas, genética: <https://cienciadelux.com/2015/07/20/estructura-y-tipos-de-arn/>
- Castellanos, A. (2017). Prácticas de laboratorio para promover el aprendizaje significativo del material y seguridad en el laboratorio, características de metales y no metales y formación de compuestos inorgánicos. *Revista Criterios*, 235-262.
- Cervera García, I. A., García Heredia, M., & Collazo Mesa, T. (2012). Estudio molecular de anemia falciforme. Frecuencia de los alelos β^S y β^C en pacientes estudiados en el año 2010. *Revista Electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos*, 365-369.
- Chrobak, R. (16 de Agosto de 2003). *La metacognición y las herramientas didácticas*. Obtenido de Universidad Nacional de Comahue: https://procesos.webnode.com/_files/200000015-3b9963c936/LA%20METACOGNICION%20Y%20LAS%20HERRAMIENTAS%20DIDACTICAS.pdf
- Cortés Moreno, S. M., & Escobar Gil, G. I. (2016). Las modificaciones genéticas, su historia e implicaciones éticas en el campo científico contemporáneo. *Revista de Educación en Biología*, 13-26.

- Costamagna, A. (2001). Mapas conceptuales como expresión de procesos de interrelación para evaluar la evaluación del conocimiento de alumnos universitarios. *Enseñanza de las ciencias*, 309-318.
- Díaz Barriga, Á. (2005). El enfoque de competencias en la educación. ¿Una alternativa o un disfraz de cambio? *SciELO*, 7-36.
- Díaz Moreno, N., & Jiménez-Liso, M. R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 54-70.
- Doudna, J. A., Charpentier, E., Jinek, M., Chylinski, K., Ines, F., & Hauer, M. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 816-821.
- Duarte Castro, G. G., Cubillos, D. M., & Zapata, P. N. (2014). Desarrollo de la habilidad argumentativa a través de cuestiones socio científicas (CSC). *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 128-134.
- Eberhard Passarge, M. D. (2009). *Genética Texto y atlas*. Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. *Science Education*, 915-933.
- Fernández-García, P., Vallejo-Seco, G., Livacic-Rojas, P., & Tuero-Herrero, E. (2014). Validez Estructurada para una investigación cuasi-experimental de calidad. Se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasi-experimentales. *Anales de psicología*, 756-771.
- Florez Mora, A. M. (2018). *Desarrollo de la habilidad argumentativa, mediante una secuencia didáctica basada en un enfoque de cuestiones sociocientíficas*. Obtenido de Departamento de química. Universidad Pedagógica Nacional: <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/11288/TE-22703.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Furió, C., & Gil, D. (1978). *El programa-guía de actividades: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química*. Obtenido de I.C.E. de la Universidad de Valencia.
- Gafo, J. (2012). La manipulación genética. *Almogaren: Revista del Centros Teológico de las Palmas*, 37-57.

- Gálvez Sánchez, F. J. (7 de Mayo de 2009). *Ácidos Nucleicos*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/Acidos%20Nucleicos_09.pdf
- García-Barrera, A. (2015). Importancia de la competencia argumentativa en el ámbito educativo: una propuesta para su enseñanza a través del role playing online. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 1-20.
- Gelambi, M. (9 de Mayo de 2019). *Ácidos nucleicos*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/acidos-nucleicos/>
- Gil, D., & Martínez-Torregrosa, J. (1987). Los programas guías de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la escuela* 3, 3-12. Obtenido de Investigación en la escuela.
- Ginecología y reproducción asistida. (20 de Febrero de 2018). *¿Qué tipos de enfermedades genéticas podemos encontrar?* Obtenido de Ginecología y reproducción asistida: <https://ginequalitas.com/informacion-al-paciente/genetica-prenatal/295-que-tipos-de-enfermedades-geneticas-podemos-encontrar.html>
- Giono, L. E. (2017). CRISPR/Cas 9 y la terapia genética. *Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.*, 405-409.
- González Pereira, S., & Méndez Pásaro, E. (1992). Genética y deficiencias genéticas. *Hospital Materno Infantil. Departamento de Psicobiología. Universidad de la Coruña*, 130-149 En este tipo de transmisión, los individuos que padecen la enfermedad des?cienden generalmente de padres sanos heterocigotos, es decir, que poseen una dosis simple del gen en cuestión. La transmisión y la probabilidad de enfermar son independientes.
- Guzmán-Cedillo, Y. I., Flores-Macías, R.-d.-C., & Tirado-Segura, F. (2013). Desarrollo de la competencia argumentativa en foros de discusión en línea: una propuesta constructivista. *SciELO. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Psicología*.
- Guzmán-Cedillo, Y., & Flores, R. (2012). La competencia argumentativa como meta en contextos educativos. Revisión de la literatura. *Educar*, 15-34.
- Ibáñez Pinilla, M. (2006). Mentefactos conceptuales como estrategia didácticopedagógica de los conceptos básicos de la teoría de muestreo aplicados en investigación en salud. *SciELO*.

- Instituto Nacional del Cáncer. (17 de Mayo de 2015). *Transcripción*. Obtenido de Instituto Nacional del Cáncer. Web site: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/transcripcion>
- Ishino, Y., Shinagawa, H., Makino, K., Amemura, M., & Nakata, A. (1987). Nucleotide sequence of the iap gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in *Escherichia coli*, and identification of the gene product. *Journal of Bacteriology*, 5429-5433.
- Jansen, R., Embden, J. D., Gaastra, W., & Schouls, L. M. (2002). Identification of genes that are associated with DNA repeats in prokaryotes. *Molecular Microbiology. Departamento de genética molecular y microbiología. Universis de Alicante*, 1565-1575.
- Karp, G., & van der Geer, P. (2006). *Biología celular y molecular: conceptos y experimentos*. MacGraw-Hill Interamericana.
- Khan Academy. (20 de Agosto de 2016). *Mecanismos moleculares de la replicación del ADN*. Obtenido de Khan Academy Web Site: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/gene-expression-and-regulation/replication/a/molecular-mechanism-of-dna-replication>
- Lammoglia-Cobo, M. F., Lozano-Reyes, R., García-Sandoval, C. D., Avilez-Bahena, C. M., Trejo-Reveles, V., Muñoz-Soto, R. B., & López-Camacho, C. (2016). La revolución en ingeniería genética: sistema CRISPR/Cas. *Departamento de Biotecnología, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*, 116-128.
- Martínez Pérez, L. F. (2014). Cuestiones sociocientíficas en la formación de profesores de ciencias: aportes y desafíos. *Tecné, Episteme y Didaxis. TED. Universidad Pedagógica Nacional*, 77-94.
- Martínez Pérez, L. F., & Carvajal, I. X. (2014). Enculturación científica a partir de la argumentación: una cuestión sociocientífica (CSC) sobre implantes estéticos. *Revista Góndola. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*, 97-103.
- Martínez Pérez, L. F., & Torres Merchán, N. Y. (2011). Desarrollo de pensamiento crítico en estudiantes de Fisioterapia, a partir del estudio de las implicaciones sociocientíficas de los xenobióticos. *Tecné, Episteme y Didaxis. TED. Universidad Pedagógica Nacional*.
- Martínez-Frías, M. L. (2010). Estructura y función del ADN y de los genes. I Tipos de alteraciones de la función del gen por mutaciones. *Revista Elsevier y Semergen*, 273-277.

- Matínez Pérez, L. F., & Parga Lozano, D. L. (2013). La emergencia de las cuestiones sociocientíficas en el enfoque CTSA. *Revista Góndola. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*, 23-35.
- Ministerio de Educación Nacional. (Julio de 2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales*. Obtenido de Ministerio de Educación Nacional. MEN. Web site: https://www.mineducacion.gov.co/1759/articulos-81033_archivo_pdf.pdf
- Ministerio de Educación Nacional. (19 de Junio de 2021). *Decreto 1278 de Junio 19 de 2002*. Obtenido de Ministerio de Educación Nacional Web site: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articulos-86102_archivo_pdf.pdf
- Mojica, F. J., Díez - Villaseñor, C., Soria, E., & Juez, G. (2000). Biological significance of a family of regularly spaced repeats in the genomes of Archaea, Bacteria and mitochondria. *Molecular Microbiology. Departamento de genética molécula y Microbiología. Universidad de alicante*, 244-246.
- Mojica, F. J., García-Martínez, J., & Soria, E. (2005). Intervening sequences of regularly spaced prokaryotic repeats derive from foreign genetic elements. *Molecular Microbiology. Departamento de genética molécula y Microbiología. Universidad de alicante*, 174-182.
- Mojica, F. J., Juez, G., & Rodríguez-Valera, F. (1993). Transcription at different salinities of *Haloflex mediterranei* sequence adjacent to partially modified PstI sites. *Molecular Microbiology, Departamento de genética molécula y microbiología. Universidad de Alicante*, 613-621.
- Morales, C. (2016). Diagnóstico diferencial de las hemoglobinopatías. *Educación continuada en el laboratorio clínico*, 53-71.
- Morales, P., & Rodríguez, L. (28 de Marzo de 2016). *Aplicación de los coeficientes correlación de Kendall y Spearman*. Obtenido de Universidad Nacional experimental de los Llanos Occidentales: <http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2016/agro8.pdf>
- Naranjo Barreto, M. H., & Peña Bohórquez, A. F. (2019). *Fortalecer la competencia argumentativa desde el tema de geometría molecular a través del diseño, validación y aplicación de una secuencia didáctica*. Obtenido de Departamento de química. Universidad Pedagógica Nacional: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/10828/TE-23541.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- National Human Genome Research Institute . (16 de Octubre de 2016). *Par de bases*. Obtenido de National Human Genome Research Institute : <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Par-de-bases>

- National Human Genome Research Institute. (25 de Abril de 2019). *Nucleótido*. Obtenido de National Human Genome Research Institute: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Nucleotido>
- NIHMedlinePlus. (25 de Enero de 2018). *Anemia de células falciformes: Lo que usted necesita saber*. Obtenido de Biblioteca Nacional de Medicina de los EE.UU: <https://magazine.medlineplus.gov/es/art%C3%ADculo/anemia-de-celulas-falciformes-lo-que-usted-necesita-saber>
- Novak, J., & Gowin, D. B. (1988). *Aprendiendo a Aprender*. Barcelona: Martínez Roca.
- Núñez-Acosta, E. (2020). *Edición genética en humanos, la gran controversia*. Obtenido de Revista ¿Cómo ves? - Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM.: <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/246/edicion-genetica-en-humanos-la-gran-controversia.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Anemia falciforme. *Organización Mundial de la Salud. 59a Asamblea mundial de la salud*, 1-5.
- Osorio Zapata, L. M. (2005). *Competencia argumentativa y estrategias metacognitivas. Intervención pedagógica en educación superior*. Obtenido de Tercer Encuentro Regional sobre la lectura y la escritura en la educación superior. Experiencias significativas en el aula de clase. Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana.: <https://media.utp.edu.co/referencias-bibliograficas/uploads/referencias/ponencia/propuesta-colegiaturapdf-xnW2T-articulo.pdf>
- Padilla Peña, C. A., Diez Dapena, J., Martínez Galisteo, E., Bárcena Ruiz, J. A., & García Alfonso, C. (28 de Septiembre de 2006). *Electroforesis de ácidos nucleicos en geles de agarosa. Aislamiento y caracterización electroforética de DNA plasmídico*. Obtenido de Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Campus Universitario de Rabanales.: <https://www.uco.es/organiza/departamentos/bioquimica-biol-mol/pdfs/17%20ELECTROFORESIS%20ACS%20NUCLEICOS%20GELES%20AGAROSA.pdf>
- Pelayo Barbosa, A. D., & Martínez Pérez, L. F. (2016). Argumentación en estudiantes de educación media a partir del abordaje sociocientífico de la automediación. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* 12, 57-82.
- Pereira Pérez, Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare Vol. XV*, 15-29.

- Pérez Cardona, L. (2020). La cocina como estrategia para mejorar la enseñanza y aprendizaje de los conceptos de bioquímica. *Tecné, Episteme y Didaxis. TED. Universidad Pedagógica Nacional*, 127-142.
- Pinzón Navarro, Y. A., Salazar Martínez, L. V., & Martínez Pérez, L. F. (2013). *Características de las cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias*. Obtenido de Documento del Programa Colombo-Brasileño de Formación de Profesores de Ciencias en la Interfaz: <http://www.alternaciencias.com/PDFsAlterna/Foros%20de%20discusion/Encuentros%20en%20los%20colegios/Lectura%203%20Profes%20Caracter%20de%20las%20CSC.pdf>
- Quinatoa, E. (2021). Análisis de replicación del ADN en la cura de enfermedades . *Departamento de Ciencia de la Vida y la Agricultura, Universidad de las Fuerzas Armadas*, 1-8.
- Riveros Melo, N. A. (2017). La estructuración conceptual de los niveles de organización en los sistemas vivos mediante Mentefactos. *Universidad Nacional de Colombia*, 1-87.
- Rodríguez, R. (2017). El aprendizaje significativo de conceptos químicos, un estudio en el contexto de la resolución de problemas y los estilos de aprendizaje. *Tesis Doctoral*. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- Rubio Moreno, C. A. (2006). *Estrategia Metodológica para el Aprendizaje Significativo de las relaciones del volumen con la presión y temperatura a partir de de la Teoría Cinético Molecular de los gases*. Obtenido de Universidad Pedagógica Nacional.
- Ruiz Ortega, F. J., & Dússan Lubert, C. (2021). Competencia argumentativa: un factor clave en la formación de docentes. *Educación y educadores* 24, 30-50.
- Ruiz, J. J., Solbes, J., & Furió, C. (2013). Debates sobre cuestiones sociocientíficas Una herramienta para aprender física y química. *Didáctica de la lengua y la literatura*, 32-39.
- Sadler, T. D. (2004). Informal Reasoning Regarding Socioscientific Issues:A Critical Review of Research. *Journal of research in science teaching*, 513-536.
- Sardá, J., & Santamartí Piug, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: Un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 405-422.

- Simmons, M. L., & Zeidler, D. L. (2003). *The Role of Moral Reasoning on Socioscientific Issues and Discourse in Science Education*. Springer Netherlands.
- Sociedad Española para las ciencias del animal de laboratorio (SECAL). (7 de Octubre de 2014). *Capítulo VII. Las mutaciones*. Obtenido de Sociedad Española para las ciencias del animal de laboratorio (SECAL): <https://secal.es/wp-content/uploads/2014/10/07-GENETICA-Pba-2.pdf.pdf>
- Sociedad Española para las Ciencias en Animales de Laboratorio [SECAL]. (7 de Octubre de 2014). *Mutaciones*. Obtenido de Manual de Genética de rodeos de laboratorio: <https://secal.es/wp-content/uploads/2014/10/07-GENETICA-Pba-2.pdf.pdf>
- Tamayo Alzate, O. E. (2011). La argumentación como constituyente del pensamiento crítico en niños. *Revista Hallazgos. Universidad Danto Tomás*, 211-233.
- Tapia, J. A. (10 de Diciembre de 2005). *Metaconocimiento y aprendizaje*. Obtenido de Universidad Autónoma de Madrid: <http://sohs.pbs.uam.es/webjesus/publicaciones/castellano/introd.pdf>
- Tinjaca Navas, D. C. (2017). *Programa guía de actividades para el fortalecimiento de competencias cognitivas en torno al concepto ácido-base*. Obtenido de Universidad Pedagógica Nacional.
- Toilmin, S. (2003). *Los usos de la argumentación*. Barcelona: Ediciones Península.
- Torres Merchán, N. Y. (2011). Las cuestiones sociocientíficas: Una alternativa de educación para la sostenibilidad. *Revista Luna Azul. Universidad de Caldas*, 45-51.
- Universidad Complutense de Madrid. (1 de Noviembre de 2004). *Mutaciones*. Obtenido de Universidad Complutense de Madrid: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-56185/11-La%20mutaci%C3%B3n.pdf>
- Universidad de Alcalá. (15 de Marzo de 2006). *Código genético*. Obtenido de Universidad de Alcalá. Biomodel.: <http://biomodel.uah.es/biomodel-misc/codgen/inicio.htm>
- Universidad de Colima. (12 de Febrero de 2016). *Investigación cuantitativa, cualitativa y mixta*. Obtenido de Universidad de Colima, Web Site: <https://recursos.ucol.mx/tesis/investigacion.php>

- Universidad de Málaga. (21 de Octubre de 2007). *DNA, RNA, & El código genético*. Obtenido de Universidad de Málaga: http://www.bmbq.uma.es/lbbv/index_archivos/presentbiotec/2-DNA-RNA-6.pdf
- Universidad de Talca. (31 de Julio de 2020). *Biología. Ácidos nucleicos*. Obtenido de Ministerio de Educación de Chile Web Site: http://www.pace.otalca.cl/wp-content/uploads/2020/07/Biolog%C3%ADa_Los-%C3%A1cidos-nucleicos.pdf
- Universidad Nacional Autónoma de México. (09 de Octubre de 2017). *Los ácidos nucleicos*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/biomoleculas/funcionesacidosnucleicos>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (29 de Junio de 2017). *Transcripción*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México. Portal académico. Biología 1: <https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/sintesisdeproteinas/transcripcion>
- Universidad Nacional de Córdoba. (1 de Mayo de 2011). *ADN*. Obtenido de Universidad Nacional de Córdoba: <http://www.facultad.efn.uncor.edu/webs/departamentos/divbioeco/anatocom/Biologia/Celula/Componentes%20quimicos%20celulares/ADN.htm>
- Vera Morales, Y. (2015). *Asunto sociocientífico: Una manera para fortalecer la construcción de explicaciones a partir del estudio de casos - Cáncer de mama*. Obtenido de Universidad del Valle: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9482/3467-0510886.pdf?sequence=1>
- Vidal Ledo, M. J., Salas Perea, R. S., & Fernández Oliva, B. G. (2016). Educación basada en competencias. *Revista Cubana de Educación Médica Superior*.
- Villa, A., & Villa, O. (2007). El aprendizaje basado en competencias y el desarrollo de la dimensión social en las universidades. *Educar*, 15-48.
- Villafañe, S. M., Bailey, C. P., Loertscher, J., Minderhout, V., & Lewis, J. E. (2011). Development and analysis of an instrument to assess student understanding of foundational concepts before biochemistry coursework. *Biochemistry and molecular biology education (BAMBE)*, 102-109.
- Wetson, A. (2001). *Las claves de la argumentación*. Barcelona: Editorial Arien S.A.

Xunta de Galicia - Consellería de Educación. (21 de Noviembre de 2011). *Ácidos Nucleicos*. Obtenido de Xunta de Galicia - Consellería de Educación: http://www.edu.xunta.gal/centros/iespuntacandieira/system/files/06_%C3%81cidos_nucleicos.pdf

Zeidler, D. L., Sadler, T. D., & Simmons, M. L. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 357-377.

12. ANEXOS

12.1. Anexo 1

**UNIVERSIDAD PEGAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
LICENCIATURA EN QUÍMICA**

Nombre: _____

Fecha: _____

Estimado estudiante reciba un cordial saludo. Inicialmente es importante darle claridad de que la siguiente prueba cuenta con el propósito de reconocer la competencia argumentativa con la que cuentan los estudiantes del ciclo de profundización de la Licenciatura en Química.

De este modo, solicitamos de su colaboración para el desarrollo de la presente prueba diagnóstica de manera honesta. Damos claridad a que sus datos y respuestas serán tratados confidencialmente y solo serán utilizados con fines investigativos. Cabe resaltar que en cada punto encontrará las indicaciones pertinentes para poder ejecutarlos; se pronostica que puede tardar alrededor de 40 minutos desarrollando la totalidad de la prueba. De antemano, damos gracias por su participación.

PRUEBA DIAGNÓSTICA

1. Lea atentamente la siguiente lectura:

¿QUÉ ES LA TERAPIA GENÉTICA? ¿CÓMO FUNCIONA?

Los genes en las células de su cuerpo desempeñan una función importante en la salud. De hecho, un gen o genes defectuosos pueden causar enfermedades. Teniendo esto en cuenta, por décadas los científicos han estado buscando maneras de modificar genes o de substituir genes defectuosos con genes saludables para tratar, curar o prevenir una enfermedad o afección médica.

Estas investigaciones sobre la terapia genética finalmente están dando frutos. Desde agosto de 2017, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) ha aprobado tres productos de terapia genética. Dos de ellos reprograman las células propias de un paciente para atacar un cáncer mortal, y el producto más recientemente aprobado, ataca una enfermedad ocasionada por mutaciones en un gen específico.

¿Qué son las células y los genes? ¿De qué manera interactúan?

¿Cuál es la relación entre las células y los genes?

Las células son los componentes básicos de todos los seres vivos; el cuerpo humano está compuesto por billones de ellas. Al interior de nuestras células hay miles de genes que proporcionan la información para la producción de proteínas y enzimas específicas que conforman los músculos, los huesos y la sangre, lo que a su vez apoya funciones corporales tales como la digestión, la producción de energía y el crecimiento.

Algunas veces un gen es defectuoso o parcialmente incompleto desde el nacimiento, o puede cambiar o mutar durante la vida adulta. Cualquiera de estas variaciones puede interrumpir la manera en que se elaboran las proteínas, lo cual puede conllevar a problemas de salud o enfermedades.

Mediante la terapia genética, los científicos pueden hacer una de varias cosas dependiendo del problema existente. Pueden substituir un gen que esté ocasionando un trastorno de salud por uno sano; agregar genes que le ayuden al cuerpo a combatir o a tratar la enfermedad, o desactivar los genes que están ocasionando problemas.

Para insertar genes nuevos directamente dentro de las células, los científicos utilizan un medio conocido como un “vector” que ha sido diseñado genéticamente para administrar el gen.

Los virus, por ejemplo, poseen la capacidad inherente para suministrarle material genético a las células y, por lo tanto, pueden ser utilizados como vectores. Sin embargo, antes de que un virus pueda utilizarse para transmitir genes terapéuticos a las células humanas éste es modificado para remover su capacidad para ocasionar una enfermedad infecciosa.

La terapia genética se puede emplear para modificar las células al interior o por fuera del cuerpo. Cuando se hace al interior del cuerpo, un doctor inyectará el vector que porta el gen directamente a la parte del cuerpo que tiene las células defectuosas. Mientras que, en la terapia genética que se utiliza para modificar las células fuera del cuerpo, se puede tomar sangre, médula ósea u otro tejido de un paciente, y se pueden separar tipos específicos de células en el laboratorio. El vector que contiene el gen deseado se introduce a estas células. Las células se dejan para que se multipliquen en el laboratorio y luego le son inyectadas nuevamente al paciente para que continúen multiplicándose y, con el tiempo, generar el efecto deseado.

Antes de que una compañía pueda lanzar un producto de terapia genética al mercado para uso en humanos, dicho producto debe ser puesto a prueba para garantizar su seguridad y efectividad de modo que los científicos de la FDA puedan considerar si los riesgos de la terapia son admisibles a la luz de los beneficios.

La terapia genética promete transformar la medicina y generar opciones para los pacientes que viven con enfermedades difíciles e incluso incurables. A medida que los científicos continúan logrando grandes avances en este tipo de terapia, la FDA está comprometida a ayudar a acelerar su desarrollo mediante el análisis oportuno de tratamientos innovadores que pueden salvar vidas.

Tomado de: <https://www.fda.gov/consumers/articulos-en-espanol/que-es-la-terapia-genetica-como-funciona>

2. Una vez realizada la lectura, responda las siguientes preguntas:

- ¿Qué ventajas y desventajas tendría la implementación de la terapia genética en los humanos?
- Teniendo en cuenta la lectura, describa el funcionamiento de la terapia genética.
- Si una persona cuenta con alguna enfermedad, ¿cuáles serían los motivos para que dicho paciente acceda o no a la terapia genética?

- ¿Cuáles son las variables que usted cree que se deberían tener en cuenta a lo hora de aprobar la terapia genética en los humanos? Argumente su respuesta.

Gracias por su colaboración...

12.2. Anexo 2

N° Estudiante	PRIMER INSTRUMENTO				
	1ra Pregunta	2da Pregunta	3ra Pregunta	4ta Pregunta	MEDIANA
1	Nivel 4	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 3
2	Nivel 4	Nivel 3	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 3
3	Nivel 4	Nivel 3	Nivel 1	Nivel 3	Nivel 3
4	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 2
5	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 3
6	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 3	Nivel 1	Nivel 3
7	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 2	Nivel 3
8	Nivel 4	Nivel 3	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 2
9	Nivel 4	Nivel 3	Nivel 1	Nivel 4	Nivel 4
10	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 1	Nivel 3	Nivel 3
11	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 3
12	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0

13	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0
14	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0
15	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0
16	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0
17	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0
18	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0	Nivel 0

12.3. Anexo 3

PROGRAMA GUÍA DE ACTIVIDADES

Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y tecnología
Licenciatura en química
Alison Dayana Borda Buitrago

INTRODUCCIÓN

En Colombia actualmente se muestra interés en formar sujetos competentes en pro a la participación ciudadana, con el fin de que cada sujeto logre aportar en los cambios circundantes de la sociedad a la cual pertenece. Así, la educación se evidencia como el puente que permite el desarrollo de conocimientos, actitudes y habilidades, aumentando la investigación en ambientes escolares, pues el repensar el abordaje de los espacios académicos incide en la evolución o involución de la formación integral del sujeto.

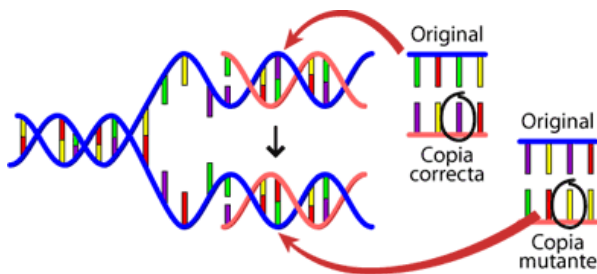
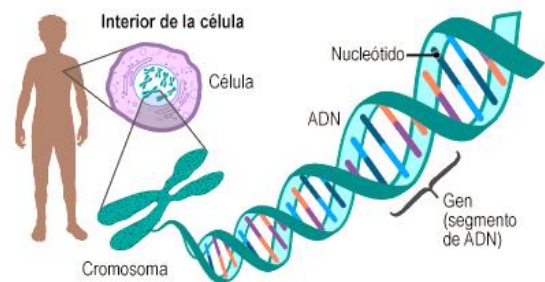
En consecuencia, desde los saberes conceptuales y un contexto controversial, es pertinente que el estudiante tome una postura crítica que le permita relacionar los nuevos conceptos a situaciones sociales con implicaciones morales, éticas y sociales para el desarrollo de competencias básicas.

La secuencia de actividades con un orden coherente diseñadas por el docente, resultan siendo una guía para que el estudiante implícitamente desarrolle la competencia argumentativa tanto escrita como verbal, pues en el programa guía de actividades no solo se da a conocer lo conceptual como parte fundamental para el cumplimiento de los derechos básicos de aprendizaje (DBA), sino que, propicia el desarrollo de las competencias integrales que aportan a su desempeño en la sociedad.

El presente programa guía de actividades (PGA) propuesto está dirigido para estudiantes del ciclo de profundización de la licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional, el cual pretende desarrollar la competencia argumentativa desde la controversia de la modificación genética para el posible tratamiento de las enfermedades hereditarias, tal como la enfermedad de células falciformes.

UNIDADES

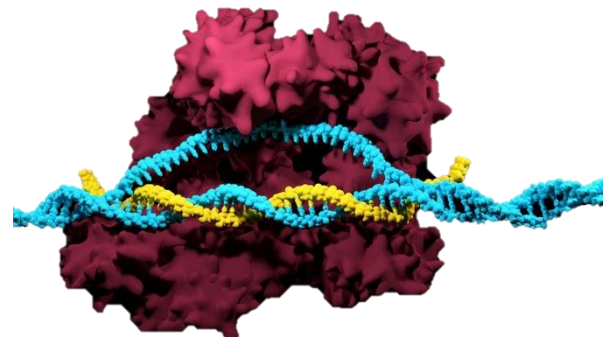
1. ¿Qué son los ácidos nucleicos y qué función tienen en el organismo?



2. ¿Qué son las mutaciones y cómo afectan en el desarrollo de enfermedades?



3. ¿Cómo se podrían curar las enfermedades hereditarias?



INDICE

UNIDAD 1	120
Estructura química de los ácidos nucleicos.....	122
Estructura primaria del ADN	127
Estructura secundaria del ADN	129
Replicación del ADN.....	132
Tipos de ARN.....	139
Transcripción y traducción.....	142
Código genético.....	147
UNIDAD 2	152
Mutación y tipos de mutación.....	152
Enfermedades hereditarias	¡Error! Marcador no definido.
Enfermedad de Anemia de células falciformes	¡Error! Marcador no definido.
UNIDAD 3	156
BIBLIOGRAFÍA	158

UNIDAD 1

¿Qué son los ácidos nucleicos y qué función tienen en el organismo?



OBJETIVOS:

- Caracterizar los ácidos nucleicos según su estructura y función.
- Relacionar el funcionamiento de los ácidos nucleicos y su aporte al organismo.

❖ Lea atentamente:

Según Fruton & MacElroy (citador por Karp & van der Geer, 2006), la historia conocida del ADN puede dividirse en tres periodos:

[1] 1869 -1943. Esta era se abrió con el descubrimiento de un nuevo compuesto fosfórico orgánico, en las células ricas en materia nuclear. Llamado primeramente nucleína y luego cromatina, se demostró luego que este compuesto constaba de ácido desoxirribonucleico (ADN) y de proteína. A este le siguieron otros descubrimientos. El análisis del ADN mostró que contenía cuatro clases de unidades estructurales, llamadas nucleótidos. El ADN se distingue del ácido ribonucleico (RNA) por tener un azúcar diferente, la desoxirribosa, en lugar de la ribosa, y una base distintiva, la timina, en vez del uracilo.

Aunque había razones para creer que el ADN podría ser el material genético, había aún más razones para asignar este papel a las proteínas. Se pensaba que cada molécula de ADN era un polímero repetitivo de una clase de unidad tetranucleotídica. Como existen solamente 256 posibles ordenaciones de las cuatro bases en un tetranucleótido, solo podría haber 256 clases de moléculas de ADN. ¿Cómo podría, entonces ser expresada la complejidad de los genes, usando una capacidad de información tan limitada? Las proteínas, con un tamaño mayor y compuestas de veinte aminoácidos, parecían más aptas para desempeñar un papel genético. Y es preciso también recordar que, en la década de 1930, el ADN era todavía llamado ácido timonucleico y existía la creencia ampliamente difundida de que se encontraba solamente en las

células animales. El ARN había sido aislado solo de células vegetales y era denominado ácido zimocleico, De hecho, las células vegetales y las animales se distinguían a veces sobre la base de esta característica química.

[2] 1944 - 1960. Este periodo se inicia con la primera evidencia importante de que el ADN es la sustancia genética: el descubrimiento realizado en 1944 de que el ADN preparado a partir de una cepa de neumococo, podía "transformar" a otra cepa. El ADN purificado transportaba un mensaje genético que podía ser asimilado y expresado por células de otra cepa. Posteriormente, se admitió que el ADN era una molécula mucho más compleja que la repetición de un tetranucleótido y que variaba su composición de unos organismos a otros. Sin embargo, como las trazas de proteína no podían ser excluidas como contaminantes del ADN transformante, quedaron algunas dudas acerca de si el ADN era el material genético y el impacto de estos descubrimientos genéticos resultó relativamente pequeño.

Se hicieron luego dos descubrimientos muy persuasivos. El primero fue la demostración en 1952 de que la infección de E. coli por el bacteriófago T2 implicaba la inyección del ADN del virus dentro de la célula huésped. Las estructuras proteicas del virus parecían no servir más que para inyectar el ADN en el interior de la bacteria y luego eran en mayor parte abandonadas fuera de la célula. El ADN del virus dirigía por tanto a la célula bacteriana, haciéndola producir muchas copias idénticas del virus que la había infectado. Este experimento expuso, de forma dramática, el papel del ADN como portador de información para producir las proteínas propias del virus y para duplicar su ADN muchas veces.

Un segundo hecho notable fue el descubrimiento en 1956, de la estructura complementaria y bifilar (duplex) del ADN y con ello el reconocimiento de cómo podía replicarse esta molécula. El apareamiento complementario de los constituyentes del nucleótido de una cadena con los de la segunda cadena fue postulado para explicar, de una forma sencilla, como un ADN duplex puede dirigir el ensamblaje de dos moléculas idénticas a él mismo. Según este modelo, cada cadena del duplex sirve de molde sobre el cual se fabrica la cadena complementaria.

Estos descubrimientos y otros importantes que les siguieron, condujeron al conocimiento de que el ADN tiene dos funciones principales, separadas entre sí. Una consiste en transportar la información genética que conlleva el fenotipo especial de la célula; el ADN es transcrito a ARN y el ARN es luego traducido al lenguaje de los aminoácidos de las proteínas. La otra función principal del ADN es su propia replicación.

Para duplicar el genotipo de la célula, el ADN actúa de molde para convertir un cromosoma en dos cromosomas idénticos.

[3] 1960 - el tiempo presente. El comienzo de esta época no está marcado por ningún suceso específico. Es una época en que los conceptos generalmente sostenidos, tanto en relación con la estructura como con las funciones dobles del ADN no han promovido ningún reto, sino que más bien van ganando terreno. A pesar de que no haya descubrimientos que marquen esta época, la justificación para distinguir un tercer periodo se basa en un cambio radical del punto de vista en relación al ADN. La genética y el DNA se han convertido en una rama de la bioquímica. A pesar de su complejidad química, el ADN está siendo modificado, disecado, analizado y sintetizado en el tubo de ensayo. Empieza a vislumbrarse el dinamismo metabólico del ADN que no había sido anticipado. El ADN sufre lesiones y es reparado. Las moléculas de ADN intercambian entre sí partes de las mismas. Las moléculas de ADN son degradadas y modificadas, retorcidas y relajadas, de forma específica; son transcritas en reverso a partir de ARN y también directamente en ARN. El ADN ejerce su función no solo en el núcleo, sino también en las mitocondrias y en los cloroplastos. Hay ahora un estímulo para determinar la secuencia total de bases del ADN y para volver a sintetizarle. Existe también confianza en que los giros metabólicos del ADN en la célula podrían ser comprendidos con tanto lujo de detalles como por ejemplo los de la glucosa o el ácido glutámico.



¿Qué aprendiste de la lectura anterior?

Responde

1. Teniendo en cuenta la lectura anterior ¿Qué entiendes por ADN y ARN?
2. ¿Por qué es importante el ADN y el ARN?
3. ¿Cuáles fueron los principales aportes en cada periodo mencionado?

Estructura química de los ácidos nucleicos

❖ Lea atentamente:

Como lo afirma Burriel Coll (2008):

Los Ácidos Nucleicos son las biomoléculas portadoras de la información genética. Son biopolímeros, de elevado peso molecular, formados por otras subunidades estructurales o monómeros, denominados Nucleótidos. Desde el punto de vista químico, los ácidos nucleicos son macromoléculas formadas por polímeros lineales de nucleótidos, unidos por enlaces éster de fosfato, sin periodicidad aparente.

De acuerdo a la composición química, los ácidos nucleicos se clasifican en Ácidos Desoxirribonucleicos (ADN) que se encuentran residiendo en el núcleo celular y algunos organelos, y en Ácidos Ribonucleicos (ARN) que actúan en el citoplasma.

El grado de polimerización puede llegar a ser altísimo, siendo las moléculas más grandes que se conocen, con moléculas constituidas por centenares de millones de nucleótidos en una sola estructura covalente. De la misma manera que las proteínas son polímeros lineales aperiódicos de aminoácidos, los ácidos nucleicos lo son de nucleótidos. La aperiodicidad de la secuencia de nucleótidos implica la existencia de información. De hecho, sabemos que los ácidos nucleicos constituyen el depósito de información de todas las secuencias de aminoácidos de todas las proteínas de la célula. Existe una correlación entre ambas secuencias, lo que se expresa diciendo que ácidos nucleicos y proteínas son colineares; la descripción de esta correlación es lo que llamamos Código Genético, establecido de forma que a una secuencia de tres nucleótidos en un ácido nucleico corresponde un aminoácido en una proteína. Son las moléculas que tienen la información genética de los organismos y son las responsables de su transmisión hereditaria.

El conocimiento de la estructura de los ácidos nucleicos permitió la elucidación del código genético, la determinación del mecanismo y control de la síntesis de las proteínas y el mecanismo de transmisión de la información genética de la célula madre a las células hijas. Existen dos tipos de ácidos nucleicos, ADN y ARN, que se diferencian por el azúcar (Pentosa) que llevan: desoxirribosa y ribosa, respectivamente. Además se diferencian por las bases nitrogenadas que contienen, Adenina, Guanina, Citosina y Timina, en el ADN; y Adenina, Guanina, Citosina y Uracilo en el ARN. Una última diferencia está en la estructura de las cadenas, en el ADN será una cadena doble y en el ARN es una cadena sencilla.

Como se ha mencionado hasta ahora, los ácidos nucleicos (ADN y ARN) están compuestos de nucleótidos que a su vez estos se distinguen por su estructura química con: un grupo fosfato, un azúcar y una base nitrogenada, para mayor comprensión véase la figura 1. De tal forma que, se va a enunciar cada una de estas partes a continuación:

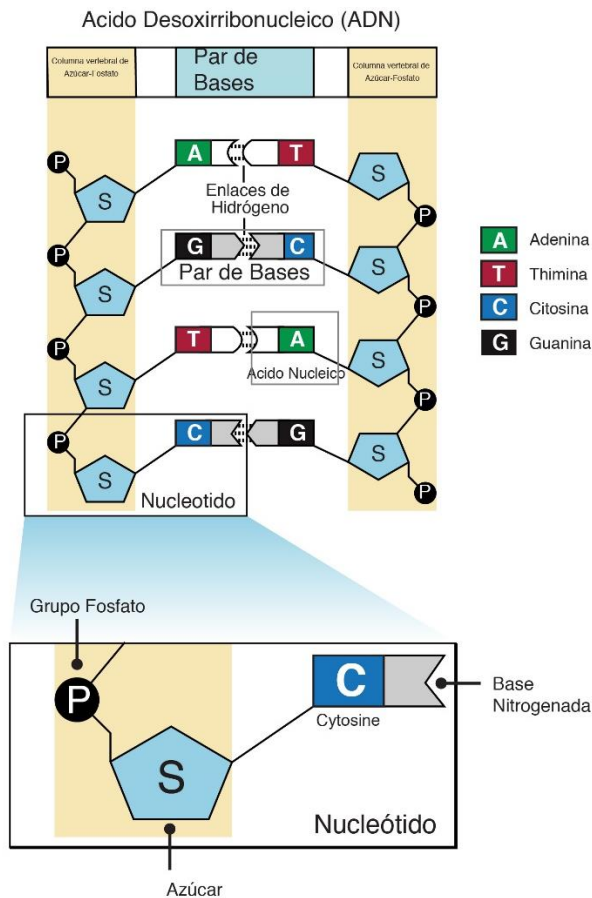


Figura 1. Bases nitrogenadas. Tomado de: National Human Genome Research Institute (2019)

- Bases nitrogenadas:** Las Bases Nitrogenadas son las que contienen la información genética. En el caso del ADN las bases son dos Purinas y dos Pirimidinas. Las purinas son A (Adenina) y G (Guanina). Las pirimidinas son T (Timina) y C (Citosina). En el caso del ARN también son cuatro bases, dos purinas y dos pirimidinas. Las purinas son A y G y las pirimidinas son C y U (Uracilo) (Burriel Coll, 2008).

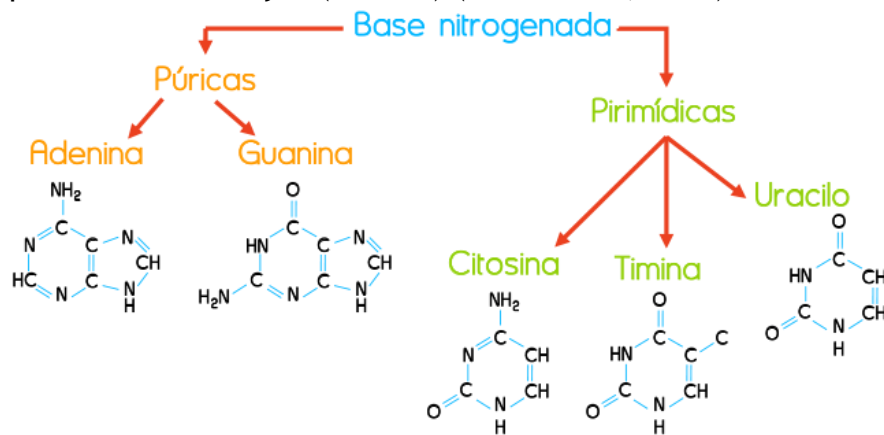


Figura 2. Bases nitrogenadas. Tomado de: Universidad Nacional Autónoma de México (2017)

Un punto fundamental es que las bases nitrogenadas son complementarias entre sí, es decir, forman parejas de igual manera que lo harían una llave y su cerradura. La adenina y la timina son complementarias (A=T), al igual que la guanina y la citosina (G=C). Dado que en el ARN no existe timina, la complementariedad se establece entre adenina y uracilo (A=U). La complementariedad de las bases es la clave de la estructura del ADN y tiene importantes implicaciones, pues permite procesos como la replicación del ADN y la traducción del ARN en proteínas (Gálvez Sánchez, 2009).

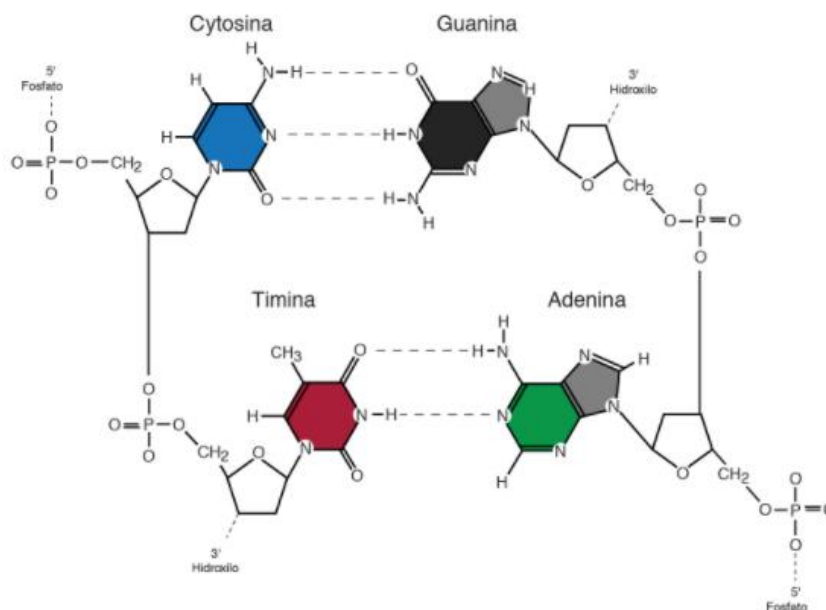


Figura 3. Pares de bases nitrogenadas. Tomado de: National Human Genome Research Institute (2016).

- Azúcar: En el caso de los ácidos desoxirribonucleicos (ADN) es la 2-desoxi-D-ribose y en el caso de los ácidos ribonucleicos (ARN) es la D-ribose.

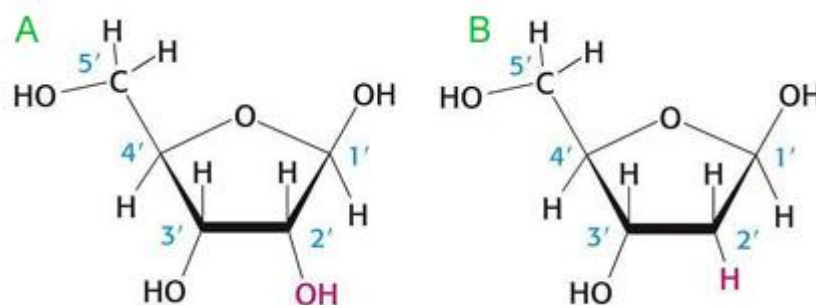


Figura 4. Azúcar. Tomado de: Universidad Nacional de Córdoba (2011).

- Grupo fosfato: Existen cuatro tipos de nucleótidos y estos tienen una estructura en común: un grupo fosfato enlazado a una pentosa por medio de un enlace fosfodiéster. La presencia de fosfatos le otorga a la molécula un carácter ácido. El grupo fosfato se encuentra disociado al pH de la célula, por lo que se encuentra cargado negativamente. Esta carga negativa permite la asociación de los ácidos nucleicos con moléculas cuya carga sea positiva. En el interior de las células y también en los fluidos extracelulares podemos encontrar pequeñas cantidades de nucleósidos. Estos son moléculas formadas por todos los componentes de un nucleótido, pero que carecen de grupos fosfato. Según esta nomenclatura, un nucleótido es un nucleósido que posee uno, dos o tres grupos fosfatos esterificados en el hidroxilo ubicado en el carbono 5'. Los nucleósidos con tres fosfatos están implicados en la síntesis de ácidos nucleicos, aunque también cumplen otras funciones en la célula (García, 2019).

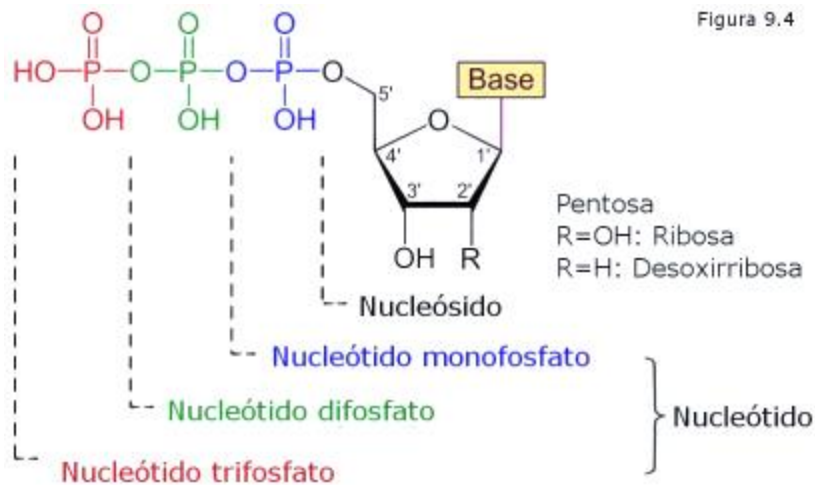


Figura 5. Azúcar. Tomado de: Universidad Nacional de Córdoba (2011).



HASTA AQUÍ...

¿Qué aprendiste de la lectura anterior?

Realiza

- Teniendo en cuenta la lectura anterior, realiza un mapa conceptual haciendo uso de las siguientes palabras y las que considere necesarias:
 - Desoxirribosa
 - Nucleótido

- c. Azúcar
- d. Fosfato
- e. ADN
- f. Base nitrogenada
- g. Ribosa
- h. Púrica
- i. ARN
- j. Pirimidica

Continuamos...

Estructura primaria del ADN

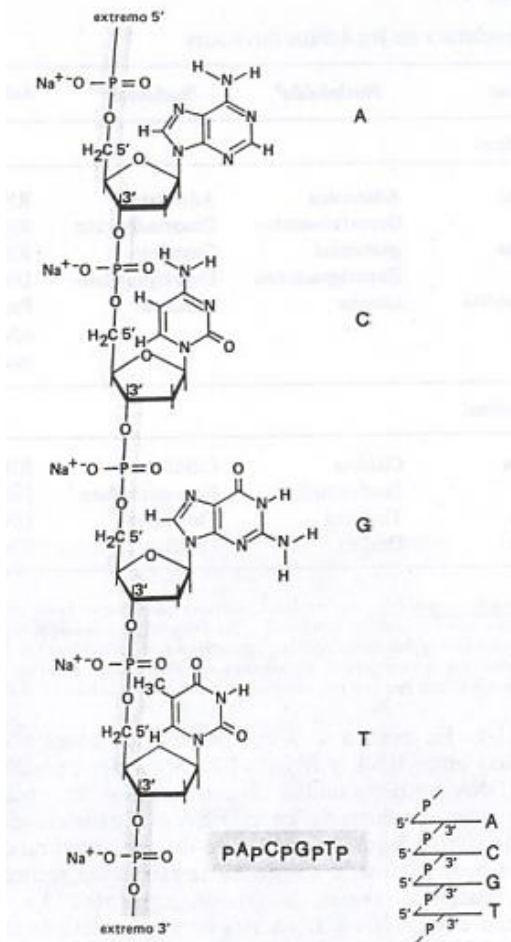


Figura 6. Segmento de un polidesoxinucleótido, como *salsárica*.

Las cadenas polinucleotídicas son largos polímeros sin ramificaciones y con enlaces entre el fosfato 5' de un nucleótido y el hidroxilo en posición 3' del azúcar del siguiente (Figura 6). El diagrama esquemático de cadenas de nucleótidos (Figura 6, abajo a la derecha) resulta con frecuencia de utilidad y puede visualizarse tanto en dirección horizontal como vertical (Karp & van der Geer, 2006). Por tanto, la columna vertebral del polímero es una cadena de:



Debido a la libre rotación en torno a los enlaces de tipo fosfato, las cadenas de polinucleótido se consideraron en un principio como altamente flexibles y capaces de adoptar conformaciones esencialmente al azar. Sin embargo, estudios más detallados han indicado ya que los principales grados de libertad de rotación están limitados a los dos enlaces O-

en la unión fosfodiéster y al enlace glucosíli-

Tomado de: Karp & van der Geer (2006). co entre la base y el azúcar. Por tanto, existen una serie de restricciones impuestas sobre la columna vertebral del ácido nucleico que le permiten adoptar relativamente pocas conformaciones y que le confieren una considerable rigidez. Considerar a la cadena única de polinucleótido como algo que puede plegarse al azar no ofrece garantía (Karp & van der Geer, 2006).



HASTA AQUÍ...

¿Qué aprendiste de la lectura anterior?

Realiza el siguiente taller

1. La anemia de células falciformes es una enfermedad hereditaria de la sangre producida por un trastorno en la formación de la proteína llamada *hemoglobina*; El cromosoma 11, en su estructura cuenta con el gen encargado de la producción de dicha proteína, el cual está compuesto de 1608 nucleótidos. Sin embargo, la enfermedad proviene del cambio en el nucleótido 70 el cual sustituye una adenina por una timina.

Fragmento del gen encargado de sintetizar la hemoglobina: ACTCCTGAGG
AGAAG

Nota: La base nitrogenada demarcada en el fragmento anterior es la que sufre la sustitución que provoca la enfermedad de células falciformes.

Dibuje:

- a. El fragmento del gen adecuado
 - b. El fragmento del gen sustituido
2. Como se ha mencionado anteriormente, la anemia de células falciformes es una enfermedad hereditaria la cual sufre una sustitución en el nucleótido 70 (A→T) de un gen ubicado en el cromosoma 11, dicha sustitución provoca la aparición del aminoácido Valina en lugar del Ácido glutámico.

Responda:

¿Qué diferencias hay entre la Valina y el Ácido glutámico para que la síntesis de la hemoglobina se vea afectada? Argumente su respuesta.

Estructura secundaria del ADN

Según Watson y Crick & Arnott, Hamilton y Langridge (citados por Karp & van der Geer, 2006):

Hay que distinguir dos cosas entre las bases nitrogenadas de los nucleótidos, que son cruciales para la estructura secundaria de los ácidos nucleicos. Una de ellas se basa en la presencia de grupos cetónicos y amínicos, que ofrecen la oportunidad de que se formen puentes de hidrógeno. Sobre esta base, T ó U, ambos compuestos cetónicos, pueden aparearse con A, un compuesto amínico, mediante un enlace de hidrógeno. G y C, que tienen tanto grupos cetónicos como amínicos; pueden formar dos puentes de hidrógeno. De hecho, puede formarse un puente de hidrógeno adicional entre los nitrógenos del núcleo en el par A-T y también en el par G-C (Figura 7).

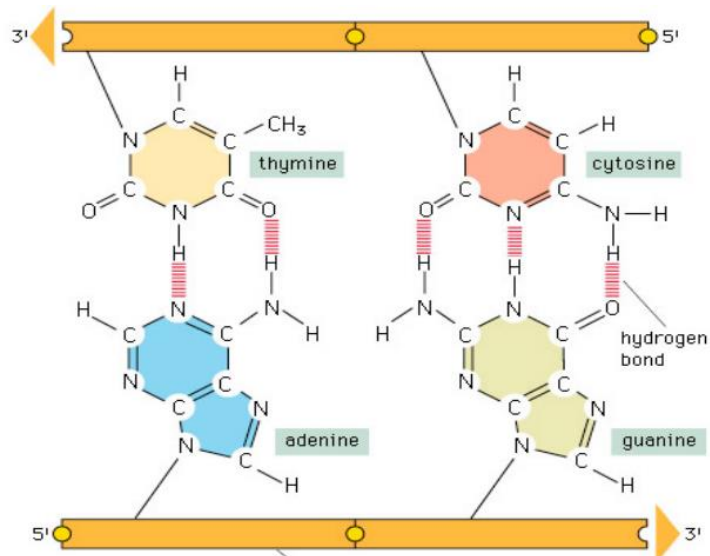


Figura 7. Pares de bases unidas por puentes de hidrógeno. Tomado de: Universidad de Málaga (2007)

La segunda importante diferencia, entre las bases es que tienen distinto tamaño: las pirimidinas T ó U y C son más pequeñas que las purinas A y G. Sin embargo, los pares de bases A-T y G-C resultan tener un tamaño idéntico, mientras que un par de pirimidinas sería mucho más grande. Y resulta además que los pares de bases A-T y G-C, no solo tienen el mismo tamaño, sino también la misma forma.

Estas características del apareamiento de las bases en los nucleótidos son las responsables del apareamiento de dos cadenas para formar un duplex rígido, fuertemente estabilizado. Cuando dos cadenas se auto alinean de esta manera, adoptan la estructura de una doble hélice (figura 8), tal como

han puesto de manifiesto con todo detalle los estudios de difracción de rayos X por fibras de ADN y la construcción de modelos. La doble hélice del DNA tiene una serie de notables características:

- (i) Las columnas vertebrales azúcar-fosfato de las dos cadenas forman hélices que giran hacia la derecha, con las mismas dimensiones en cada hélice y un eje de hélice común. El diámetro de la hélice es 20 Å. La hélice tiene dos surcos, uno profundo y otro poco hondo.
- (ii) Las columnas vertebrales de azúcar-fosfato de las dos cadenas están conectadas por enlaces de hidrógeno entre las bases, cuyos planos superficiales son perpendiculares al eje de las hélices. Las bases están en el interior y la columna vertebral en la parte externa. Los planos de dos pares de bases vecinos están separados 3,4 Å. Hay diez pares de bases dentro de cada paso de rosca de la hélice, de tal manera que cada par de bases está rotado 36° en relación con su par vecino y cada paso de rosca completo tiene una longitud de 34 Å.

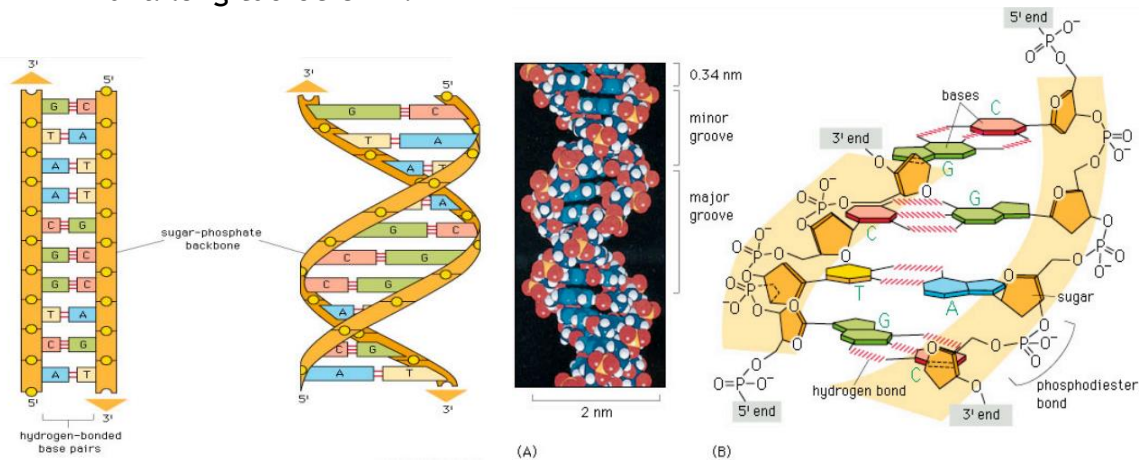


Figura 8. Hélice del ADN. Tomado de: Universidad de Málaga (2007)

- (iii) El apilamiento de las bases, a pesar de las interacciones hidrofóbicas entre sus superficies planas aromáticas, estabiliza la estructura helicoidal frente a la fuerza electrostática de repulsión que existe entre los grupos fosfóricos cargados negativamente. Esta energía estabilizante puede ser igual o mayor que la que establece puentes de hidrógeno entre las bases de dos cadenas.
- (iv) Las dos cadenas son antiparalelas. Desde el punto de vista químico están dispuestas en direcciones opuestas, es decir que la estructura: 5' azúcar 3'... se opone a la estructura: 3' azúcar 5'. Cuando las cadenas se cruzan desde el extremo 5' al extremo 3' (5' → 3') la dirección es ascendente en una hélice y descendente en la otra (figura 7).
- (v) Un importante elemento de simetría en la hélice es un doble eje de rotación (diada) que pasa a través del plano de cada par de

bases y relaciona los enlaces glicosídicos N-C. La rotación de un par de bases 180° permite a los grupos correspondientes, el azúcar y el fosfato de las dos cadenas antiparalelas, tener la misma conformación. Como resultado de ello, o la conexión entre los átomos de carbono glicosídicos puede hacerse a través de cualquiera de los cuatro pares de bases A-T, T-A, G-C y C-G.

- (vi) Debido a que los cuatro pares de bases encajan igualmente bien, es posible una secuencia cualquiera dentro de la cadena, y la doble hélice sigue teniendo un diámetro uniforme en toda su longitud.
- (vii) La rotación en torno al enlace N-glicosídico permite establecer varias relaciones geométricas entre la base y el azúcar. El rango de conformación designado como *anti* ocurre con mayor frecuencia que las conformaciones opuestas 180°, designadas como *sin* (figura 9).

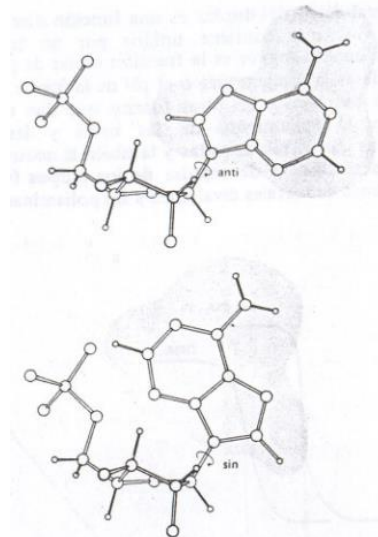


Figura 9. Geometría *anti* y *sin* del ADN. Tomado de: Karp & van der Geer (2006).

- (viii) Las dobles hélices antiparalelas pueden formarse también entre una cadena de ADN y una cadena de ARN. Estas se llaman cadenas híbridas DNA-RNA. Ejemplos de pares de bases híbridos son desoxi A. ribo-U, desoxi T. ribo A, desoxi C. ribo G y desoxi G. ribo C. Estos pares de bases existen en los híbridos de transcripción generados por la RNA polimerasa.



HASTA AQUÍ...

¿Qué aprendiste de la lectura anterior?

Realiza el siguiente taller

1. La anemia de células falciformes es una enfermedad hereditaria la cual se produce en el cromosoma 11 (gen de 1608 BN), el cual sufre una sustitución en su nucleótido 70 (A→T). Dado el siguiente fragmento del gen que provoca dicha enfermedad: CTGAGGA, complete la estructura secundaria con y sin sustitución, teniendo en cuenta la base nitrogenada resaltada como la que sufre la sustitución mencionada.
2. El ADN es un ácido nucleico susceptible de ser desnaturizado vía tratamiento térmico o mecánico, la facilidad de desnaturizarse depende de las fuerzas que estabilizan la estructura secundaria. De acuerdo con lo anterior, de las siguientes fracciones de ADN, mencione cuál de ellas se desnaturiza con mayor facilidad y explique las razones.

5´-GCATTTCCGGCGCGTTA-3´
3´-CGTAAAGCCGCGCAAT-5´

5´-ATTGCGCTTATATGCT-3´
3´-TAACGGGAATATACGT-5´

Replicación del ADN

Teniendo en cuenta los mecanismos moleculares de replicación del ADN expresados en Khan Academy (2016) ¡La replicación del ADN, o copiado del ADN de la célula, no es una tarea sencilla! Hay alrededor de 3 millones de pares de bases en el ADN de tu genoma, todos los cuales deben ser copiados con exactitud cuando cualquiera de tus billones de células se divide.

Los mecanismos básicos de la replicación del ADN son similares entre los organismos. Nos centraremos en cómo ocurre la replicación del ADN en la bacteria *E. coli*, pero los mecanismos de replicación son similares en los seres humanos y otros eucariontes.

Revisemos las proteínas y enzimas que realizan la replicación y veamos cómo trabajan en conjunto para asegurar la replicación correcta y completa del ADN.

La idea básica

La replicación del ADN es semiconservativa, lo que significa que cada cadena de la doble hélice del ADN funciona como molde para la síntesis de una nueva cadena complementaria.

Este proceso nos lleva de una molécula de inicio a dos moléculas "hijas", en las que cada nueva doble hélice contiene una cadena nueva y una vieja.

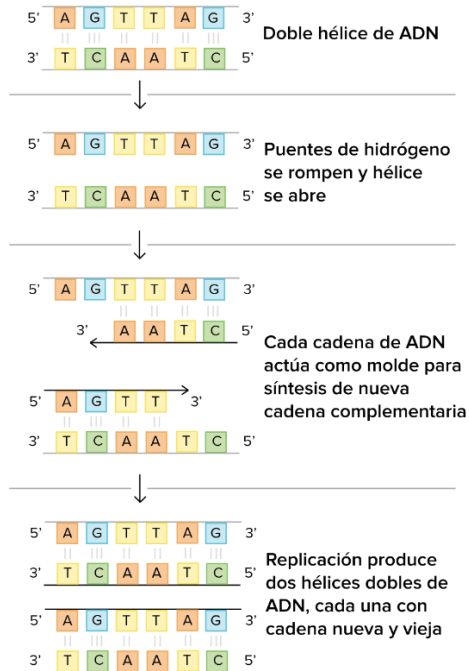


Figura 10. Replicación del ADN. Tomado de: Kahn Academy (2016).

En parte, ¡eso es todo lo que sucede en la replicación de ADN! Pero en realidad, lo más interesante de este proceso es cómo lo realiza una célula.

Las células necesitan copiar su ADN muy rápidamente y con muy pocos errores (o se arriesgan a problemas como el cáncer). Para ello, utilizan una variedad de enzimas y proteínas que trabajan en conjunto para asegurar que la replicación del ADN se lleva a cabo sin incidentes y con precisión.

La ADN polimerasa

Una de las moléculas claves en la replicación del ADN es la enzima ADN polimerasa. Las ADN polimerasas son responsables de la síntesis de ADN: añaden nucleótidos uno por uno a la cadena creciente de ADN, e incorporan solo aquellos que sean complementarios al molde.

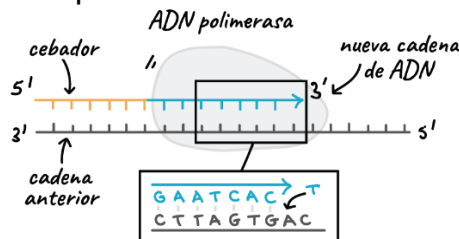


Figura 11. Polimerasa. Tomado de: Kahn Academy (2016).

Estas son algunas características clave de las ADN polimerasas:

- Siempre necesitan un molde.
- Solo pueden agregar nucleótidos al extremo 3' de la cadena de ADN.
- No pueden comenzar una cadena de ADN desde cero, sino que requieren de una cadena preexistente o segmento corto de nucleótidos llamado cebador.
- Pueden corregir, o revisar su trabajo, eliminando la gran mayoría de nucleótidos "equivocados" que se agregan accidentalmente a la cadena.

La adición de nucleótidos requiere energía. Esta energía proviene de los nucleótidos mismos, que tienen tres fosfatos unidos a ellos (muy similar a la molécula portadora de energía ATP). Cuando se rompe el enlace entre los fosfatos, la energía liberada se utiliza para formar un enlace entre el nucleótido entrante y la cadena creciente.

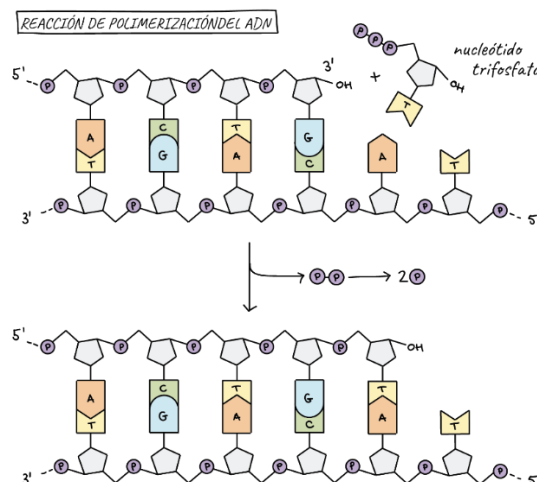


Figura 12. Reacción de polimerización del ADN. Tomado de: Kahn Academy (2016).

En procariontes como *E. coli*, participan principalmente dos ADN polimerasas en la replicación del ADN: ADN pol III (la principal fabricante de ADN) y ADN pol I, que desempeña un crucial papel auxiliar que analizaremos más adelante.

El comienzo de la replicación de ADN

¿Cómo saben las ADN polimerasas y otros factores dónde comenzar la replicación? La replicación siempre comienza en lugares específicos del ADN, que se llaman orígenes de replicación y se reconocen por su secuencia.

E. coli, como la mayoría de las bacterias, tiene solo un origen de replicación en su cromosoma. El origen es de aproximadamente 245 pares de bases de largo y tiene en su mayoría pares A/T (que se mantienen unidos por menos puentes de

hidrógeno que los pares de bases G/C), por lo que es más fácil separar las cadenas de ADN.

Proteínas especializadas reconocen el origen, se unen a este sitio y abren el ADN. Conforme se abre el ADN, se forman dos estructuras en forma de Y llamadas horquillas de replicación, en conjunto conforman lo que se llama burbuja de replicación. Las horquillas de replicación se mueven en direcciones opuestas a medida que avanza la replicación.

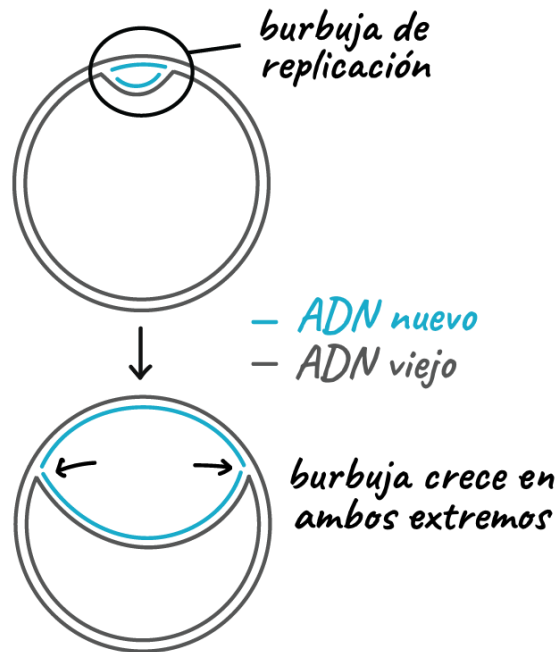


Figura 13. Horquillas. Tomado de: Kahn Academy (2016).

¿Cómo es que avanza realmente la replicación en las horquillas? La helicasa es la primera enzima de la replicación que se carga en el origen de replicación.

El trabajo de la helicasa es permitir el avance de las horquillas de replicación "desenrollando" el ADN (rompiendo los puentes de hidrógeno entre los pares de bases nitrogenadas).

Proteínas llamadas proteínas de unión a cadenas sencillas cubren las cadenas de ADN separadas cerca de la horquilla de replicación, impidiéndoles volver a unirse en una doble hélice.

Los cebadores y la primasa

Las ADN polimerasas solo pueden agregar nucleótidos en el extremo 3' de una cadena de ADN existente, ya que utilizan el grupo -OH libre en el extremo 3' como un "gancho" y añaden un nucleótido a este grupo en la reacción de polimerización. Entonces, ¿cómo es que la ADN polimerasa añade el primer nucleótido en una horquilla de replicación nueva?

Por sí sola, ¡no puede! El problema se soluciona con la ayuda de una enzima llamada primasa. La primasa hace un cebador de ARN, un corto segmento de

ácido nucleico complementario al molde, que proporciona un extremo 3' con el que la ADN polimerasa puede trabajar. Un cebador típico es de cinco a diez nucleótidos de largo. El cebador ceba la ADN polimerasa, es decir, le proporciona lo que necesita para funcionar.

Una vez que el cebador de ARN está en su sitio, la ADN polimerasa lo "extiende", añadiendo nucleótidos uno a uno para hacer una cadena nueva de ADN complementaria a la cadena molde.

Cadena líder y cadena rezagada

En *E. coli*, la ADN polimerasa que se encarga de la mayor parte de la síntesis es la ADN polimerasa III. Hay dos moléculas de ADN polimerasa III en una horquilla de replicación, cada una de las cuales trabaja duro en una de las dos nuevas cadenas de ADN.

Las ADN polimerasas solo pueden hacer ADN en dirección 5' a 3', esto plantea un problema durante la replicación. Una doble hélice de ADN siempre es antiparalela; en otras palabras, una cadena corre en dirección 5' a 3', mientras que la otra corre de 3' a 5'. Esto hace necesario que las dos cadenas nuevas, que también son antiparalelas a sus moldes, se produzcan de formas ligeramente diferentes.

Una cadena nueva, que corre de 5' a 3' hacia la horquilla de replicación, es fácil. Esta cadena se produce continuamente porque la ADN polimerasa se mueve en la misma dirección que la horquilla de replicación. Esta cadena sintetizada continuamente se llama cadena líder.

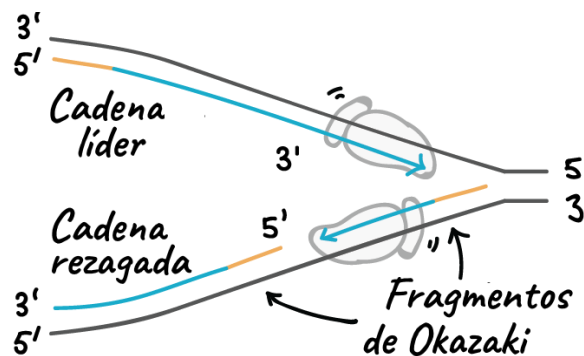


Figura 14. Cadena líder y rezagada. Tomado de: Kahn Academy (2016).

La otra cadena nueva, que corre de 5' a 3' y se aleja de la horquilla, es más difícil. Esta cadena se produce en fragmentos porque, conforme avanza la horquilla, la ADN polimerasa (que se aleja de la horquilla) debe separarse y volver a unirse al ADN recién expuesto. Esta cadena más difícil, que se produce en fragmentos, se llama cadena rezagada.

Los pequeños fragmentos se llaman fragmentos de Okazaki, en honor al científico japonés que los descubrió. La cadena líder puede extenderse a partir de un solo cebador, mientras que la cadena rezagada necesita un cebador nuevo para cada uno de los fragmentos cortos de Okazaki.

El equipo de mantenimiento y limpieza

Además de las principales proteínas mencionadas anteriormente, se necesitan algunas otras proteínas y enzimas para mantener la replicación del ADN funcionando sin problemas. Una es una proteína llamada pinza deslizante, que mantiene a las moléculas de ADN polimerasa III en su lugar al sintetizar ADN. La pinza deslizante es una proteína en forma de anillo e impide que la ADN polimerasa de la cadena rezagada se vaya flotando cuando vuelve a comenzar en un nuevo fragmento Okazaki.

La topoisomerasa también juega un papel importante de mantenimiento durante la replicación del ADN. Esta enzima impide que la doble hélice de ADN que está por delante de la horquilla de replicación se enrolle demasiado cuando se abre el ADN. Actúa haciendo mellas temporales en la hélice para liberar la tensión, las cuales vuelve a sellar para evitar daños permanentes.

Por último, se debe hacer un poco de trabajo de limpieza si queremos que el ADN no contenga ARN ni brechas. La ADN polimerasa I, la otra polimerasa que participa en la replicación, elimina los cebadores de ARN y los sustituye por ADN. La enzima ADN ligasa sella las brechas que permanecen después de reemplazar los cebadores.

Resumen de la replicación del ADN en E. coli

Veamos el panorama para conocer cómo las enzimas y proteínas que participan en la replicación trabajan juntas para sintetizar ADN nuevo.

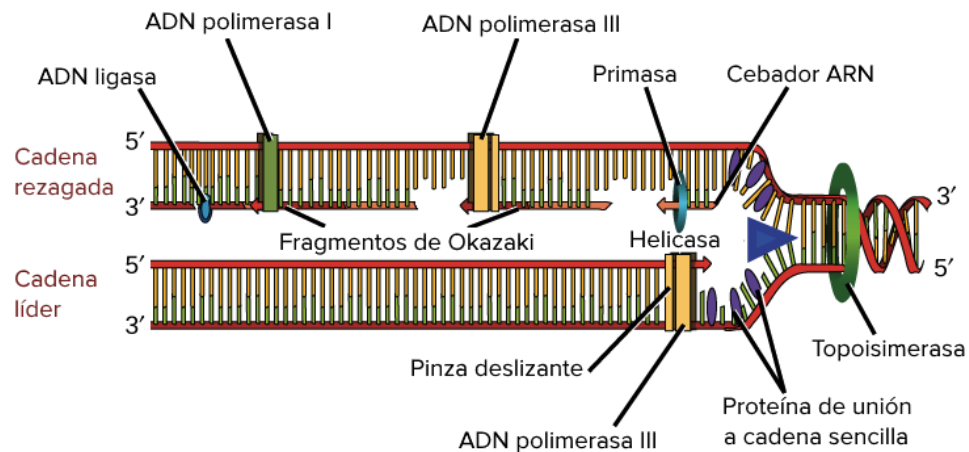


Figura 15. Cadena líder y rezagada. Tomado de: Kahn Academy (2016).

- La helicasa abre el ADN en la horquilla de replicación.
- Las proteínas de unión a cadenas sencillas cubren el ADN alrededor de la horquilla de replicación para evitar que el ADN se vuelva a enrollar.
- La topoisomerasa trabaja por delante de la horquilla de replicación para evitar el superenrollamiento.

- La primasa sintetiza cebadores de ARN complementarios a la cadena de ADN.
- La ADN polimerasa III extiende los cebadores, agregando sobre el extremo 3', para hacer la mayor parte del ADN nuevo.
- Los cebadores de ARN se eliminan y la ADN polimerasa I los sustituyen por ADN.
- La ADN ligasa sella las brechas entre fragmentos de ADN.

La replicación del ADN en eucariontes

Los fundamentos de la replicación del ADN son similares entre bacterias y eucariontes, como los seres humanos, pero también hay algunas diferencias: Los eucariontes tienen varios cromosomas lineales, cada uno con múltiples orígenes de replicación. ¡Los seres humanos pueden tener hasta 100 000 orígenes de replicación!

La mayoría de las enzimas de E. coli tienen contrapartes en la replicación eucarionte del ADN, pero una única enzima de E. coli puede ser representada por varias enzimas en eucariontes. Por ejemplo, hay cinco ADN polimerasas humanas con papeles importantes en la replicación.

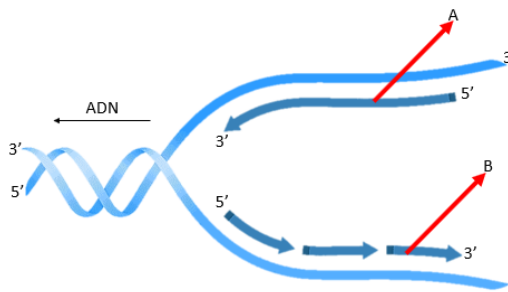
La mayoría de los cromosomas eucariontes son lineales. Debido a la forma en que se hace la cadena rezagada, en cada ronda de replicación se pierde un poco de ADN en los extremos de los cromosomas lineales (los telómeros) en cada ronda de replicación.



HASTA AQUÍ...

¿Qué aprendiste de la lectura y el video anterior?

1. Realiza un mentefacto para la estructura secundaria del ADN.
2. A partir de la figura argumente las siguientes preguntas
 - a. Menciona la importancia del proceso representado.
 - b. ¿Por qué la cadena A crece de forma continua y la cadena B de modo discontinua?



3. Lee con atención el siguiente artículo y realiza un párrafo de máximo 10 líneas argumentando el por qué es o no importante el uso de técnicas analíticas de ADN en casos forenses.

Artículo: <https://core.ac.uk/download/pdf/268244479.pdf>

Continuamos...

Tipos de ARN

Gálvez Sánchez (2009) afirma que:

El ácido ribonucleico (ARN o RNA) es un ácido nucleico formado por una cadena de ribonucleótidos. Esta presente tanto en las células procariotas como en las eucariotas, y es el único material genético de ciertos virus (virus ARN). El ARN celular es lineal y de hebra sencilla, pero en el genoma de algunos virus es de doble hebra.

En los organismos celulares desempeña diversas funciones. Es la molécula que dirige las etapas intermedias de la síntesis proteica; el ADN no puede actuar solo, y se vale del ARN para transferir esta información vital durante la síntesis de proteínas (producción de las proteínas que necesita la célula para sus actividades y su desarrollo). Varios tipos de ARN regulan la expresión génica, mientras que otros tienen actividad catalítica. El ARN es, pues, mucho más versátil que el ADN.

Teniendo en cuenta a Xunta de Galicia - Consellería de Educación (2011), los tipos de ARN son:

- ARN mensajero (ARNm): Es una molécula corta y lineal de hasta 5000 nucleótidos, de vida corta y estructura primaria. Se origina a partir del ARN heterogéneo nuclear, que es complementario de un fragmento de ADN, por lo que contiene su información genética.

El ARN heterogéneo nuclear (ARNhn) tiene unos segmentos con información llamados exones y otros sin información llamados intrones. Tras un proceso de maduración, elimina los intrones y forma ARNm, que tiene en su inicio una caperuza, que constituye la señal de inicio de la síntesis proteica, y al final una cola de poli A (muchas adeninas), que tiene función estabilizadora. Se forma en el núcleo y viaja hasta el citoplasma. El ARNm es el portador de la información genética del ADN. Se forma con intervención de una ARN polimerasa II y atraviesa los poros nucleares para asociarse a los ribosomas en el citoplasma y dirigir la síntesis de proteínas.

Revisar: Maduración del ARNm: <https://youtu.be/ax4VScQSkAM>

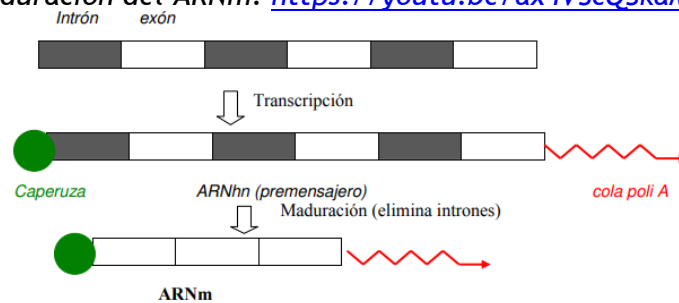


Figura 16. ARNm. Tomado de: Xunta de Galicia - Consellería de Educación (2011).

- **ARN transferente (ARNt):** Está formado por moléculas pequeñas. Tiene forma de hoja de trébol, con 4 brazos con estructura primaria y secundaria. Tres de los brazos tienen un asa o bucle, son los brazos D, T y uno llamado Anticodón. El cuarto es un brazo aceptor de aminoácidos, con un extremo (3') más largo que otro que termina siempre en el triplete CCA y es por la A por la que se unirá a un aminoácido.

Existen unos 50 tipos diferentes que se sintetizan en el nucleoplasma por acción de una ARN polimerasa III y viaja hasta el citoplasma. En el Anticodón hay diferentes tripletes, que son complementarios de los diferentes aminoácidos que capta el codón del ARNm. Su función es captar aminoácidos específicos en el citoplasma y transportarlos hasta los ribosomas, donde, siguiendo la secuencia dictada por el ARNm, se sintetizan las proteínas.

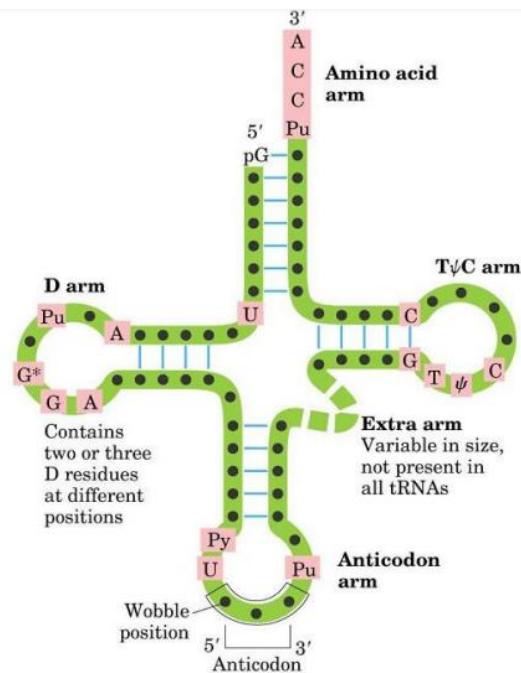
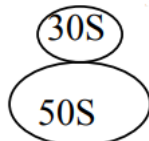
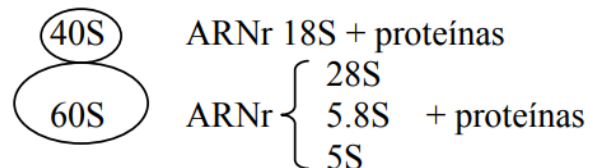


Figura 17. ARNt. Tomado de: Xunta de Galicia - Consellería de Educación (2011).

- ARN ribosómico (ARNr):** Es el más abundante y se encuentra asociado a proteínas formando los ribosomas. Está formado por un filamento con estructura primaria, secundaria y terciaria. Su función es formar los ribosomas donde se realizará la síntesis de proteínas. Los ribosomas se diferencian por su velocidad de sedimentación, que se mide en Svedberg (1S = 10⁻¹³ s) s = segundos. En células procariotas los ribosomas son 70S, formados por dos subunidades, 30S y 50S.



En células eucariotas son 80S.



Los ARNr 18S, 5.8S y 28S se forman en el nucleolo a partir del ARN nuclear y se transcribe mediante una ARN polimerasa I. El ARNr 5s se forma en el nucleoplasma y lo transcribe una ARN polimerasa III.

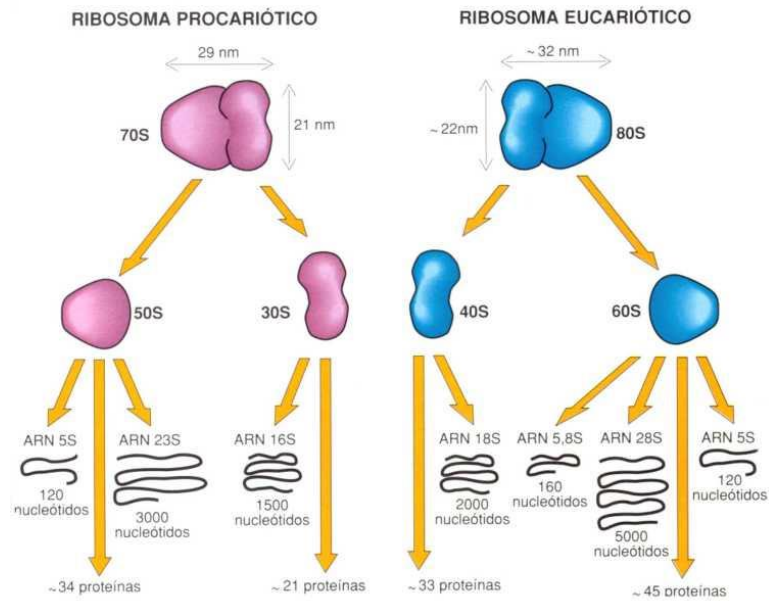


Figura 18. ARNr. Tomado de: Castaños (2015).

- ARN nucleolar (ARNn): Se forma en el núcleo a partir de ciertos segmentos del ADN llamados organizadores nucleares o región organizadora nucleolar. Se asocia a proteínas y forma el nucléolo. Una vez formado, se fragmenta y da origen a los diferentes tipos de ARNr.

Transcripción y traducción

Teniendo en cuenta el portal académico realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (2017):

El mecanismo anabólico que se encarga de elaborar proteínas a partir de la información genética, se denomina síntesis de proteínas, este proceso se divide en dos fases: la transcripción, que se lleva a cabo en el núcleo de la célula y la traducción, que se realiza en el citoplasma, esta actividad está catalizada por la enzima ARN polimerasa II, presente en todas las células. Este proceso lo llevan a cabo las células cuando necesitan alguna determinada proteína, seleccionando el gene que la codifica.

A continuación, se describe la primera fase del proceso de síntesis de proteínas en células eucariotas:

- Fase 1. La transcripción: Es la elaboración de una cadena de ácido ribonucleico mensajero a partir de una molécula molde de ADN, presente en todas las células. La transcripción sigue la regla de

complementariedad de Chargaff, solo que en lugar de poseer timina (T), el ARN contiene uracilo (U), que es complementario con la adenina. La información necesaria para sintetizar a las proteínas se encuentra contenida en el ADN, este mecanismo se lleva a cabo en el citoplasma de las células, por lo que se requiere llevar la información desde el núcleo, para lo cual se utiliza a la molécula de ARNm que sirve como intermediario entre el ADN $\xrightarrow{\text{Transcripción}}$ ARNm, a este proceso se le llama transcripción, y consiste en tres etapas:

- **Iniciación:** Comienza cuando la enzima ARN Polimerasa II y los factores de transcripción (conjunto de proteínas), se unen en un sitio específico de la molécula denominado **promotor**, este consiste en una secuencia pequeña de bases nitrogenadas que no se transcriben y que son: TATAAA, también conocida como caja tata, y solo sirve como señal a la enzima para identificar el sitio donde se inicia la transcripción (figura 19). La unión de la ARN polimerasa II a esta región promotora permite el desenrollamiento del ADN y la separación de las dos cadenas, para formar una burbuja de transcripción:

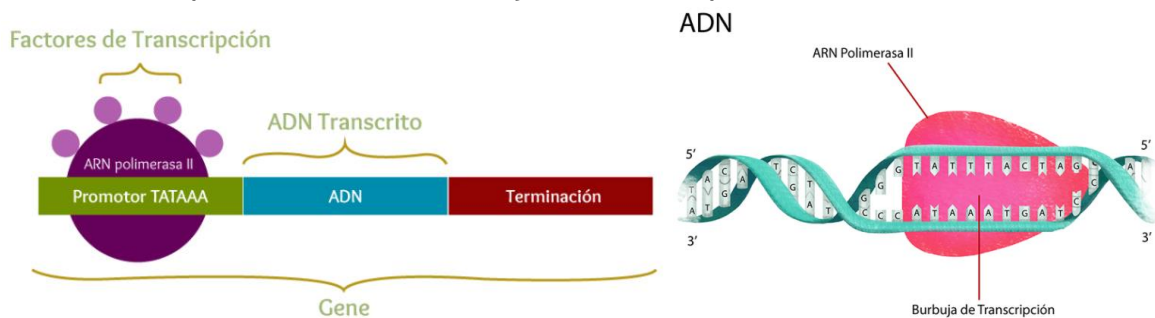


Figura 19. Iniciación. Tomado de: Universidad Nacional Autónoma de México (2017)

- **Elongación:** En este momento del proceso el ADN se encuentra desenrollado y las bases nitrogenadas complementarias separadas (recuerda que enfrente de una A hay una T y enfrente de G una C), la enzima ARN polimerasa II avanza a lo largo de la cadena de ADN que se está transcribiendo en el sentido $3' \rightarrow 5'$ y se le conoce como cadena molde, por lo que el ARNm en formación o ARNm inmaduro siempre tendrá el sentido $5' \rightarrow 3'$. En el extremo 5' del ARNm inmaduro se une la caperuza o CAP (que es un nucleótido de guanina modificada), que sirve para identificar el sitio en donde inicia la formación de la cadena de ARNm inmaduro, mientras que en el extremo 3' se adhiere la cola poli-A (serie repetida de adeninas) que señala la terminación de la molécula. Con esto se garantiza que la información está

intacta y que la síntesis de proteínas se inicie y concluya correctamente.

La transcripción se lleva a cabo cuando se acomodan las bases complementarias del ARN a las del ADN, que en este caso son A-U, T-A, G-C y C-G, cuando la cadena del ARNm inmaduro en formación tiene 10 nucleótidos se despega de la cadena molde, pero continúa en crecimiento ya que la ARN polimerasa II sigue uniendo nucleótidos hasta llegar al sitio de terminación, que es en donde termina la transcripción y el ARNm inmaduro se libera de la cadena molde. Conforme se va separando el ARNm inmaduro recién formado de la cadena de ADN, esta vuelve a enrollarse y recupera nuevamente su forma original.

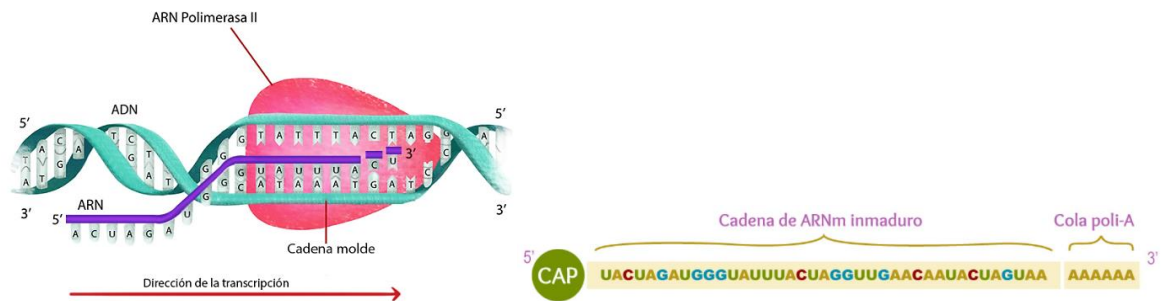


Figura 20. Elongación. Tomado de: Universidad Nacional Autónoma de México (2017).

- **Maduración:** En las células eucariotas el ADN contiene ciertas regiones que no codifican proteínas llamadas intrones y otras que sí codifican proteínas llamadas exones, por lo que el ARNm transcrito, copia ambas regiones y recibe el nombre de ARNm inmaduro o pre-ARNm, el cual tendrá que pasar por el proceso de maduración en el que se eliminan los intrones y se unen los exones por corte y empalme para convertirse en un ARNm maduro (a este proceso se le conoce como splicing), el cual contendrá exclusivamente la información necesaria para la síntesis de proteínas y sale del núcleo al citoplasma en donde se lleva a cabo el proceso de traducción.





Figura 21. Maduración. Tomado de: Universidad Nacional Autónoma de México (2017).

- Fase 2. La traducción: Este proceso consiste en convertir la información contenida en el ARNm maduro en proteínas, esto se lleva a cabo en los ribosomas que se encuentran en el citoplasma de la célula. La información del ARNm está en la secuencia de bases nitrogenadas que lo forman (A, G, C, U), las cuales se acomodan en tripletes (grupo de tres nucleótidos consecutivos), que reciben el nombre de codones y son el resultado de la combinación de estas, lo que da 64 codones diferentes que están contenidos en el código genético, y que codifican a los 20 aminoácidos que forman a las proteínas.
 - Primera etapa: La síntesis de proteínas se inicia cuando el ARNm que se encuentra en el citoplasma se acomoda en el sitio específico de la subunidad pequeña de los ribosomas por el extremo 5', para proceder a la unión de los aminoácidos que formarán a la proteína correspondiente, la secuencia de estos está dada por el ARNm. La traducción se inicia con la lectura del codón de inicio AUG del ARNm que codifica para el aminoácido metionina y las bases complementarias son UAC que las contiene el ARNt y reciben el nombre de anticodón, el cual lleva al aminoácido metionina al triplete inicial del ARNm que junto con la unidad pequeña del ribosoma formaran el complejo de iniciación, posteriormente se adhiere la subunidad mayor del ribosoma, y la metionina queda colocada en el sitio P de este.

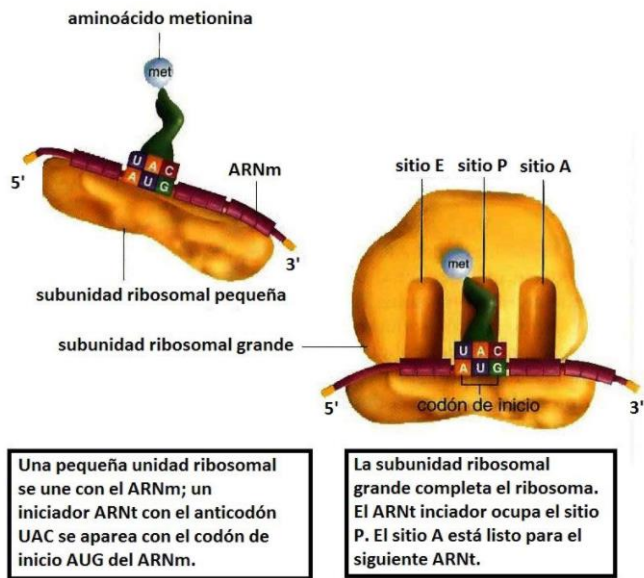


Figura 22. Primera etapa de la traducción. Tomado de: Universidad Nacional Autónoma de México (2017).

- **Segunda etapa:** El proceso continúa con el alargamiento o elongación de la proteína donde otro ARNt llevará al siguiente aminoácido, por ejemplo el ácido aspártico cuyo codón es GAC y su correspondiente anticodón CUG que será colocado en el sitio A de la subunidad mayor del ribosoma, a continuación se formará un enlace peptídico entre metionina y ácido aspártico en el sitio catalítico del ribosoma, enseguida el ARNt de la metionina pasará al sitio E del ribosoma para posteriormente quedar libre y se avanza para leer el siguiente codón, el ARNt del ácido aspártico se mueve hacia el sitio P con los dos aminoácidos unidos y así se continuará con la síntesis de proteínas.

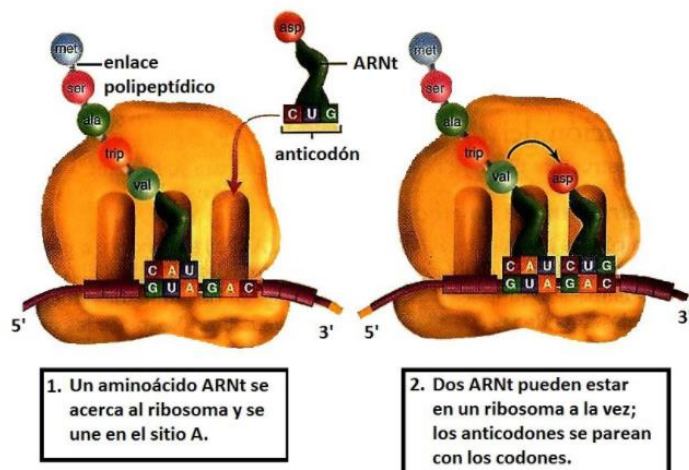


Figura 23. Segunda etapa de la traducción. Tomado de: Universidad Nacional Autónoma de México (2017).

- **Tercera etapa:** La última parte del proceso ocurre cuando el ribosoma lee un codón de terminación o alto (UAA o UAG o UGA), el cual no codifica ningún aminoácido y en su lugar se unen al ribosoma algunas proteínas llamadas factores de liberación, que hacen que la proteína terminada se desprenda del ribosoma. Finalmente se separan las dos subunidades del ribosoma y estarán listas para iniciar una nueva síntesis.

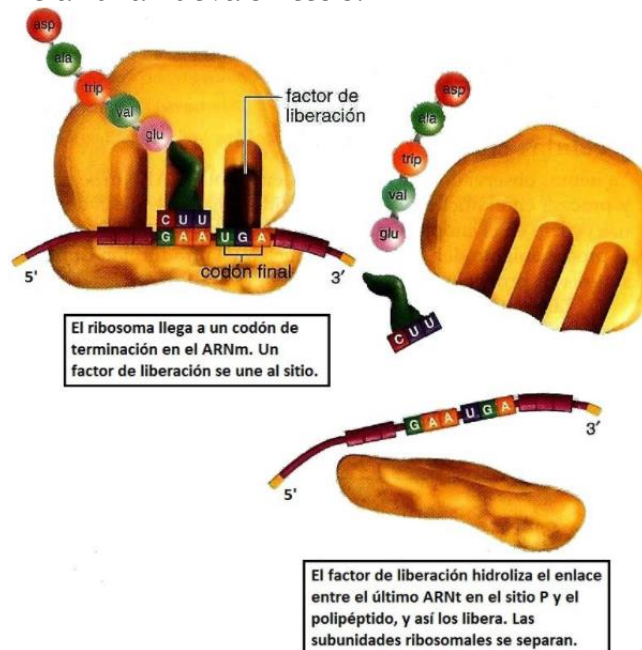


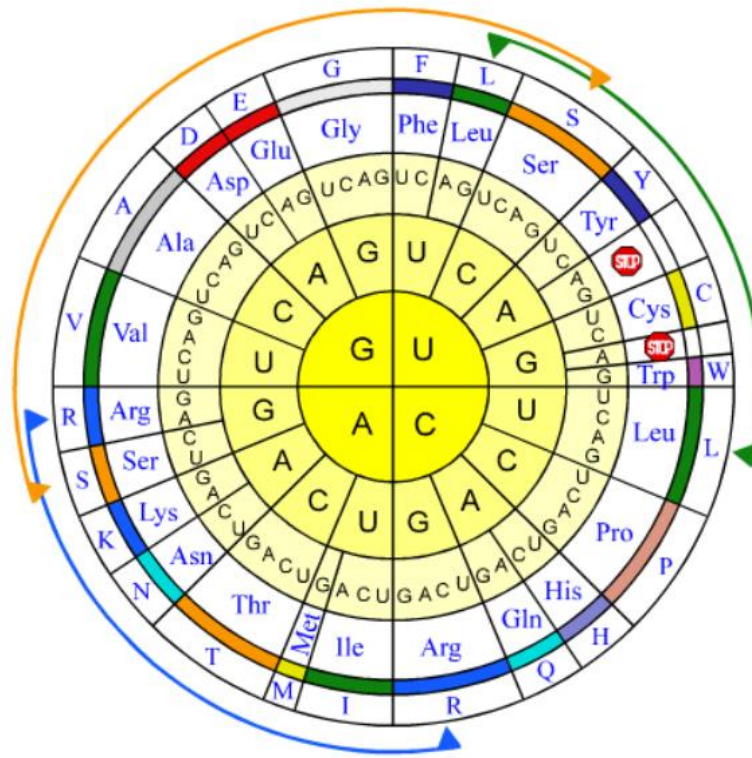
Figura 24. Tercera etapa de la traducción. Tomado de: Universidad Nacional Autónoma de México (2017).

Código genético

Teniendo en cuenta el portal académico realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (2017):

El código genético es un conjunto de tripletes de bases nitrogenadas del ARNm llamados codones, que codifican a los aminoácidos durante la síntesis de proteínas. Existen 64 codones diferentes (producto de la combinación de 3 de las 4 bases nitrogenadas que forman el ARNm), para codificar los 20 aminoácidos que forman proteínas, de los cuales 3 no codifican ningún aminoácido y su función es indicar la finalización de la síntesis (UAG, UAA y UGA). En el caso del codón de iniciación (AUG), también hace la función de codificar al aminoácido metionina (Met), por lo tanto, todas las proteínas originalmente deberían iniciar con este aminoácido, sin embargo, en la realidad no vemos esto, ya que muchas de ellas lo pierden después de ser sintetizadas.

Los 60 codones restantes, van a codificar a los 19 aminoácidos que quedan, es decir, como consecuencia se dice que el código genético es degenerado ya que la mayoría de los aminoácidos están codificados por más de un codón. Es universal porque todos los seres vivos lo comparten, lo cual es una evidencia de una herencia evolutiva común.



Nucleótidos:

- 1ª base del codón
- 2ª base del codón
- 3ª base del codón

Aminoácidos:

- ácidos (Asp, Glu)
- básicos (Arg, Lys)
- His
- con azufre (Cys, Met)
- alcoholes (Ser, Thr)
- amidas (Asn, Gln)
- aromáticos (Phe, Tyr)
- Trp
- alifáticos (Ile, Leu, Val)
- Pro
- Ala
- Gly

Figura 25. Código genético. Tomado de: Universidad de Alcalá. Biomodel (2006).

- Instrucciones para usar el código genético

Como tú sabes los codones del ARNm están formados por tres bases nitrogenadas y cada uno codifica diferentes aminoácidos, para que los puedas ubicar, el código señala en donde está la primera, segunda y tercera base y cada una de ellas te las indica en forma ordenada de acuerdo a la secuencia del triplete correspondiente a cada aminoácido, por ejemplo el triplete que codifica a la treonina es ACA (Universidad Nacional Autónoma de México, 2017), por lo que buscarás en el centro la primera base que es A, en el siguiente círculo que se encuentra el amarillo claro la C, en el círculo siguiente que se encuentra en color rosa buscarás nuevamente la A y en el sitio en donde coincidan las tres estará la treonina.



¿Qué aprendiste de la Unidad 1?

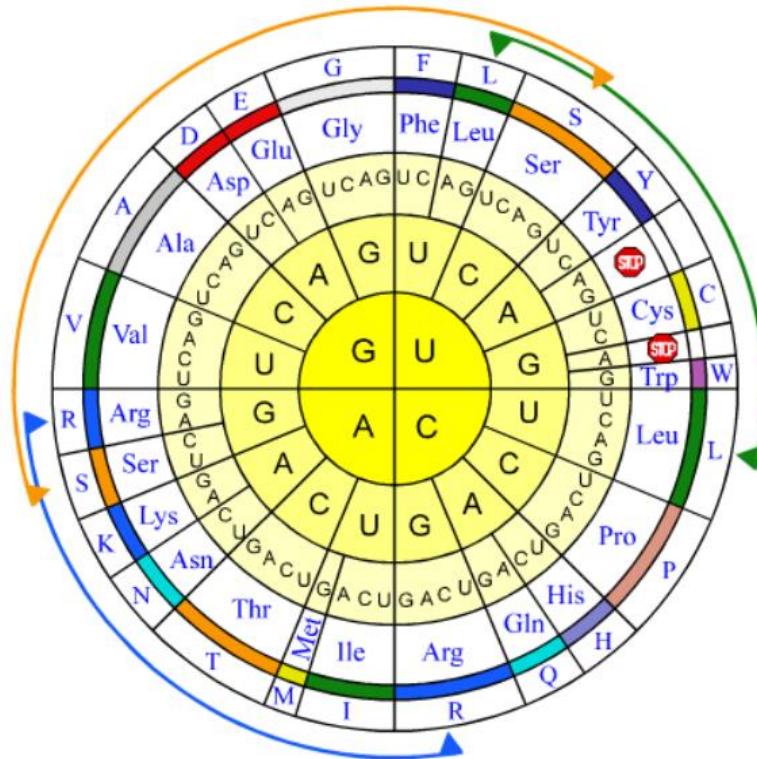
Responda...

1. Observe los siguientes esquemas relativos al funcionamiento de los ácidos nucleicos, e indique cuales son verdaderos y cuales falsos.
 - (a) _____ RNA → replicación → RNA1 + RNA2
 - (b) _____ DNA → transcripción → RNA
 - (c) _____ DNA → traducción → proteína
 - (d) _____ DNA → replicación → DNA1 + DNA2
 - (e) _____ RNA → transcripción → proteína
 - (f) _____ RNA → transcripción → DNA
 - (g) _____ RNA → traducción → proteína
 - (h) _____ DNA → traducción → RNA
 - (i) _____ RNA → traducción → DNA

2. Considere la siguiente secuencia de nucleótidos que representa una molécula de ARNm:

5' -CGAUGUAUCGAUUUAUAGAAAAA- 3'

Use la siguiente figura para traducir la molécula de ARNm en su secuencia polipeptídica correspondiente.



3. Realice el siguiente laboratorio:

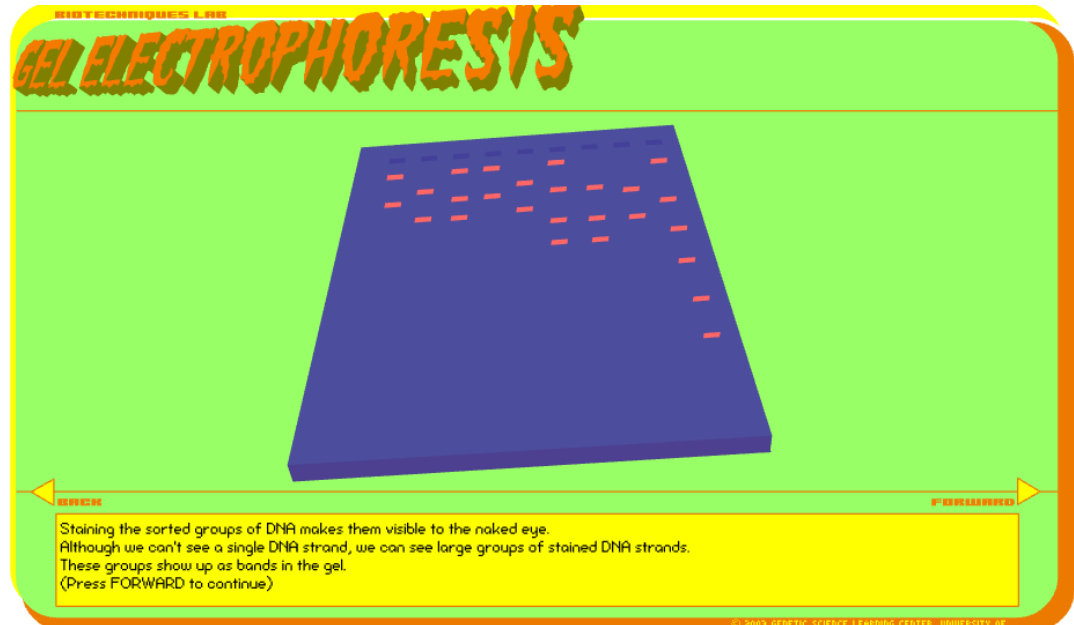
ELECTROFORESIS

Objetivo: El objetivo del presente laboratorio es determinar la longitud de un fragmento de ADN, reconociendo el fundamento teórico-práctico de la electroforesis en gel.

Aspecto teórico: La electroforesis en gel de agarosa es de las más utilizadas para analizar y caracterizar ácidos nucleicos de distintas procedencias. Los geles se comportan como un tamiz molecular y permiten separar moléculas cargadas en función de su tamaño y forma. Así, moléculas de DNA de diferente tamaño van a emigrar de forma distinta en una electroforesis en gel de agarosa. Además, si en dicha electroforesis se aplican marcadores de peso molecular (fragmentos de DNA de tamaño conocido) se puede calcular el tamaño aproximado del

DNA en estudio (Padilla Peña, Diez Dapena, Martínez Galisteo, Bárcena Ruiz, & García Alfonso, 2006).

Simulación: <https://learn.genetics.utah.edu/content/labs/gel/>



Resultados:

Realice un análisis teniendo en cuenta la importancia de la longitud de un fragmento de ADN; el desplazamiento en el gel; el UV vis y; el estándar de referencia.

UNIDAD 2

¿Qué son las mutaciones y cómo afectan en el desarrollo de enfermedades?



OBJETIVOS:

- Clasificar las mutaciones según su extensión, afectación y origen.
- Relacionar el concepto y tipos de mutación a las enfermedades hereditarias.

Mutación y tipos de mutación

❖ Lea atentamente:

Según la Sociedad Española para las ciencias del animal de laboratorio (SECAL) (2014):

Una mutación es el cambio, en general irreversible, de una característica del genoma. Este cambio, que por otro lado puede no ser observado inmediatamente a nivel del fenotipo, se transmite como un nuevo rasgo hereditario y se presenta bajo las formas más variadas y sutiles. Las mutaciones son muy frecuentes en los mamíferos y presentan un interés considerable para los genetistas, además de su intrínseco valor evolutivo, por ser generadoras de diversidad genética. Todos los seres vivos, sin excepción, sufren mutaciones en sus genomas y este proceso es fundamentalmente aleatorio. Las mutaciones pueden presentarse sobre células somáticas o germinales, en células embrionarias o adultas, en cada caso con consecuencias diferentes. Pueden afectar tanto secuencias que codifican para proteínas como secuencias regulatorias o repetitivas. Las mutaciones tienen ventajas e inconvenientes: una ventaja es que la aparición de mutaciones permite a los individuos adquirir polimorfismos (variabilidad genética) y por

consecuencia evolucionar; un inconveniente es que la mayor parte de esas mutaciones tienen efectos deletéreos o patológicos, representados por las enfermedades hereditarias.

En la siguiente tabla se resumen algunos tipos de mutaciones génicas en el ADN y en sus consecuencias en las proteínas:

Tipos de mutaciones génicas	Resultados y ejemplos
En el ADN	En el ADN
Transiciones	Pu→Pu o Pi→Pi: AT→GC, GC→AT, CG→TA y TA→CG
Transversiones	Pu→Pi o Pi→Pu: AT→CG, AT→TA, GC→TA, GC→CG, TA→GC, TA→AT, CG→AT y CG→GC
En la proteína	En la proteína
Mutación silenciosa	Tripletes que codifican para el mismo aminoácido: AAG(arg)→CGG(arg)
Mutación neutra	Tripletes que codifican para aminoácidos equivalentes distintos. AAA(lys)→AGA(arg). Ambos son aminoácidos básicos
Mutación cambio de sentido	Aparece un nuevo triplete que codifica para un aminoácido de distinto tipo. La proteína pierde su función.
Mutación sin sentido	Aparece un triplete de terminación o FIN: CAG(gln)→UAG(FIN)
Mutación cambio de fase o pauta de lectura	Adición o delección de un único par de nucleótidos o de varios pares de nucleótidos, siempre que no sean múltiplo de tres.

Tabla 1. Mutaciones génicas. Tomado de: Universidad Complutense de Madrid (2004).

HASTA AQUÍ...

¿Qué aprendiste de la lectura y los esquemas anteriores?



1. Por grupos leerán el siguiente artículo: <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-pdf-S1138359310000596>

Cada grupo realizará una pequeña presentación según los títulos que le corresponda:

- **Grupo 1:** Resumen y Estructura del ADN
- **Grupo 2:** Código genético y Función del código genético para la transcripción del mensaje

- **Grupo 3:** ¿Cuál es la estructura de los genes y cómo se forma del ARNm? Y ¿Cómo es posible que se conozcan más de 100.000 proteínas distintas en los seres humanos cuando solo tienen alrededor de 25.000 genes?
- **Grupo 4:** Alteraciones del código genético por mutaciones

Los grupo 5 hará la siguiente lectura y de la misma manera realizará un presentación en torno a ello:

HEMOGLOBINAS VARIANTES

Introducción

En la actualidad hay descritas más de 1200 variantes estructurales de hemoglobinas, debido principalmente a un cambio de aminoácido. Este cambio aminoacídico puede alterar las características fisicoquímicas de la variante condicionando su solubilidad, estabilidad, afinidad por el oxígeno y función fisiológica siendo responsables de las manifestaciones clínicas de los pacientes afectados. La hemoglobina S (HbS) es la hemoglobinopatía estructural más frecuente, seguida de la HbC, HbD, HbE y Hb Lepore. Las guías internacionales recomiendan realizar el diagnóstico de la presencia de hemoglobinas variantes mediante dos métodos distintos. Los métodos más utilizados son el HPLC, electroforesis alcalina y ácida, isoelectroenfoque o test de falciformación, entre otros. En ocasiones la combinación de estos métodos no es suficiente y se requiere la confirmación molecular para poder tipificar la hemoglobina anómala estructural.

Hemoglobina S

La hemoglobina S es la hemoglobinopatía más frecuente en el mundo teniendo una mayor incidencia en África, Oriente Medio, India y la cuenca del Mediterráneo, aunque en la actualidad está mucho más extendida. En 1947, L. Pauling sugirió que la HbS podría tratarse de una enfermedad molecular, siendo el resultado de una mutación en el gen de la β -globina que comporta un cambio de aminoácido en la posición 6 de una valina en lugar de un ácido glutámico (β^6 Val-Glu). En situaciones de oxigenación la HbS es igual de soluble que la HbA, pero en ausencia de oxígeno la solubilidad de la HbS disminuye precipitando en forma de polímeros. Estos polímeros distorsionan la forma bicóncava del hematíe produciendo un aspecto de medialuna, falciforme o en forma de hoz característicos. La formación de polímeros falciformes de HbS obstaculiza el flujo sanguíneo en los capilares produciendo crisis vaso-oclusivas y hemólisis por rotura de los hematíes (Figura 27). Clínicamente es de gran severidad, los pacientes pueden presentar sepsis, crisis aplásicas, accidentes cerebrovasculares o hipertensión pulmonar.

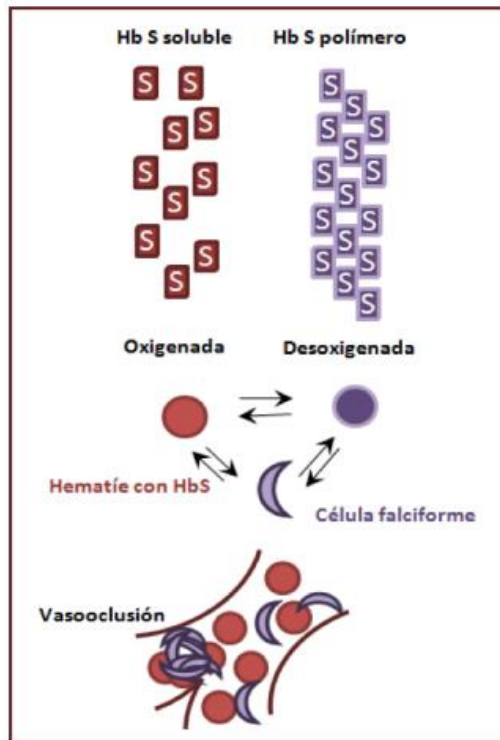


Figura 27. Hb S. Tomado de: Martínez-Frías (2010)

Finalmente, los grupos restantes deberán leer el siguiente documento: https://apps.who.int/gb/archive/pdf_files/WHA59/A59_9-sp.pdf y realizar una pequeña presentación según los títulos que les correspondan:

- **Grupo 6:** Prevalencia de la anemia falciforme
- **Grupo 7:** Características clínicas, Tratamiento y Prevención

Con las lecturas y presentaciones realizadas anteriormente, en un párrafo de máximo 10 líneas argumenta qué tipo de mutación se da en la anemia de células falciformes y si a partir de la biotecnología valdría la pena modificar el código genético como un posible tratamiento de dicha enfermedad.

UNIDAD 3

¿Cómo se podrían curar las enfermedades hereditarias?



OBJETIVOS:

- Identificar el fenómeno de la terapia genética a partir de CRISPR.
- Reconocer las ventajas y desventajas de la terapia genética

Se conocen más de 10 000 enfermedades hereditarias monogénicas (causadas por un único gen) que afectan a millones de personas en todo el mundo. Algunas de estas enfermedades son causadas por mutaciones autosómicas dominantes, es decir que la herencia de una única copia defectuosa del gen responsable puede causar síntomas clínicos. El desarrollo de técnicas que permitan editar o corregir con precisión y eficiencia el genoma de células vivas es, por lo tanto, uno de los objetivos principales de la investigación biomédica (Giono, 2017).

Hace unas semanas, CRISPR/Cas9 fue tapa de diarios y revistas en todo el mundo a raíz de un trabajo realizado por un equipo internacional de investigadores de la Universidad de Oregón, en EE.UU. y publicado en la revista Nature. En este artículo, se describió el uso de la técnica de edición génica CRISPR/Cas9 para corregir una mutación patogénica en docenas de embriones humanos viables (Giono, 2017).

Para abarcar más este fenómeno...

1. Vea el siguiente documental:

<https://www.netflix.com/co/title/81220944>

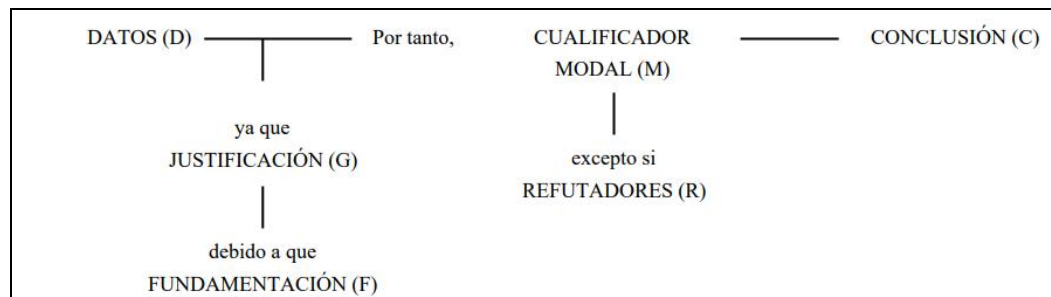




HASTA AQUÍ...
¿Qué aprendiste de la unidad 3?

ACTIVIDAD DE CIERRE

1. Con base al siguiente esquema, planteado por Toulmin (1993) citado Sardá & Sanmartí (2000), responda ¿Qué consecuencias a largo plazo podría tener el uso de CRISPR/Cas9 en la erradicación de enfermedades hereditarias, tales como la enfermedad de células falciformes?



2. Una vez haya visto el documental elabore un mapa conceptual teniendo en cuenta las siguientes palabras y las que considere necesarias
 - a) CRISPR/Cas9
 - b) Terapia genética
 - c) Enfermedades hereditarias
 - d) Anemia de células falciformes
 - e) ADN
 - f) ARN
 - g) Resistencia
 - h) Trasplante

BIBLIOGRAFÍA PGA

- Blaustein, S. (1 de Julio de 2011). *Ácidos nucleicos: ADN y ARN*. Obtenido de Educa.ar sociedad del estado: https://cdn.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__cc72f146-c851-11e0-825f-e7f760fda940/index.htm
- Brandan, N., Aguirre, M. V., Llanos, I. C., & Rodríguez, A. (2011). *Conceptos de genética*. Obtenido de Facultad de Medicina. Universidad Nacional del Nordeste: <https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/Carrera-Medicina/BIOQUIMICA/gen07.pdf>
- Burriel Coll, V. (2008). *Estructura y propiedades de los ácidos nucleicos*. Obtenido de Universidad de Valencia: https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/AcidosNucleicos_veronica.pdf
- Castaños, E. (20 de Julio de 2015). *Estructura y tipos de ARN*. Obtenido de Biomoléculas, genética: <https://cienciadelux.com/2015/07/20/estructura-y-tipos-de-arn/>
- Gálvez Sánchez, F. J. (7 de Mayo de 2009). *Ácidos Nucleicos*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/Acidos%20Nucleicos_09.pdf
- Gelambi, M. (9 de Mayo de 2019). *Ácidos nucleicos*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/acidos-nucleicos/>
- Ginecología y reproducción asistida. (20 de Febrero de 2018). *¿Qué tipos de enfermedades genéticas podemos encontrar?* Obtenido de Ginecología y reproducción asistida: <https://ginequalitas.com/informacion-al-paciente/genetica-prenatal/295-que-tipos-de-enfermedades-geneticas-podemos-encontrar.html>
- Giono, L. E. (2017). CRISPR/Cas 9 y la terapia genética. *Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.*, 405-409.
- González Pereira, S., & Méndez Pásaro, E. (1992). Genética y deficiencias genéticas. *Hospital Materno Infantil. Departamento de Psicobiología. Universidad de la Coruña*, 130-149 En este tipo de transmisión, los individuos que padecen la enfermedad des?cienden generalmente de padres sanos heterocigotos, es decir, que poseen una dosis simple del gen en cuestión. La transmisión y la probabilidad de enfermar son independientes.
- Karp, G., & van der Geer, P. (2006). *Biología celular y molecular: conceptos y experimentos*. MacGraw-Hill Interamericana.
- Khan Academy. (20 de Agosto de 2016). *Mecanismos moleculares de la replicación del ADN*. Obtenido de Khan Academy Web Site:

<https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/gene-expression-and-regulation/replication/a/molecular-mechanism-of-dna-replication>

Martínez-Frías, M. L. (2010). Estructura y función del ADN y de los genes. I Tipos de alteraciones de la función del gen por mutaciones. *Revista Elsevier y Semergen*, 273-277.

National Human Genome Research Institute . (16 de Octubre de 2016). *Par de bases*. Obtenido de National Human Genome Research Institute : <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Par-de-bases>

National Human Genome Research Institute. (25 de Abril de 2019). *Nucleótido*. Obtenido de National Human Genome Research Institute: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Nucleotido>

Organización Mundial de la Salud. (2006). Anemia falciforme. *Organización Mundial de la Salud. 59a Asamblea mundial de la salud*, 1-5.

Padilla Peña, C. A., Díez Dapena, J., Martínez Galisteo, E., Bárcena Ruiz, J. A., & García Alfonso, C. (28 de Septiembre de 2006). *Electroforesis de ácidos nucleicos en geles de agarosa. Aislamiento y caracterización electroforética de DNA plasmídico*. Obtenido de Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Campus Universitario de Rabanales.: <https://www.uco.es/organiza/departamentos/bioquimica-biol-mol/pdfs/17%20ELECTROFORESIS%20ACS%20NUCLEICOS%20GELES%20AGAROSA.pdf>

Sardá, J., & Santamartí Piug, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: Un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 405-422.

Sociedad Española para las ciencias del animal de laboratorio (SECAL). (7 de Octubre de 2014). *Capítulo VII. Las mutaciones*. Obtenido de Sociedad Española para las ciencias del animal de laboratorio (SECAL): <https://secal.es/wp-content/uploads/2014/10/07-GENETICA-Pba-2.pdf.pdf>

Universidad Complutense de Madrid. (1 de Noviembre de 2004). *Mutaciones*. Obtenido de Universidad Complutense de Madrid: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-56185/11-La%20mutaci%C3%B3n.pdf>

Universidad de Alcalá. (15 de Marzo de 2006). *Código genético*. Obtenido de Universidad de Alcalá. Biomodel.: <http://biomodel.uah.es/biomodel-misc/codgen/inicio.htm>

Universidad de Málaga. (21 de Octubre de 2007). *DNA, RNA, & El código genético*. Obtenido de Universidad de Málaga: http://www.bmbq.uma.es/lbbv/index_archivos/presentbiotec/2-DNA-RNA-6.pdf

Universidad Nacional Autónoma de México. (09 de Octubre de 2017). *Los ácidos nucleicos*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México:

<https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/biomoleculas/funcionesacidosnucleicos>

Universidad Nacional Autónoma de México. (29 de Junio de 2017). *Transcripción*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México. Portal académico. Biología 1:

<https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/sintesisdeproteinas/transcripcion>

Universidad Nacional de Córdoba. (1 de Mayo de 2011). *ADN*. Obtenido de Universidad Nacional de Córdoba:

<http://www.facultad.efn.uncor.edu/webs/departamentos/divbioeco/anatocom/Biologia/Celula/Componentes%20quimicos%20celulares/ADN.htm>

Xunta de Galicia - Consellería de Educación. (21 de Noviembre de 2011). *Ácidos Nucleicos*. Obtenido de Xunta de Galicia - Consellería de Educación:

http://www.edu.xunta.gal/centros/iespuntacandieira/system/files/06_%C3%81cidos_nucleicos.pdf

12.4. Anexo 4

ESTUDIANTE	ESQUEMA	CONCEPTO CENTRAL	SUPRAORDINADA	ISOORDENADA	EXCLUSIONES	INFRAORDINADA	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
E1	1	5	1	4	1	1	2,17	1,675
E2	1	5	1	2	1	1	1,83	1,462
E3	5	5	5	4	3	3	4,17	0,898
E4	4	5	5	4	1	4	3,83	1,344
E5	5	5	5	4	3	4	4,33	0,745
E6	5	1	1	5	3	2	2,83	1,675
E7	5	5	1	4	3	4	3,67	1,374
E8	5	5	5	4	3	4	4,33	0,745
E9	5	5	5	4	5	5	4,83	0,373
E10	5	5	5	4	3	4	4,33	0,745
E11	3	5	1	3	4	1	2,83	1,462
E12	1	5	1	4	2	2	2,50	1,500
E13	5	5	2	4	1	4	3,50	1,500
E14	1	1	1	4	2	1	1,67	1,106
E15	5	5	4	3	3	4	4,00	0,816
E16	5	5	5	3	3	4	4,17	0,898
E17	1	1	1	1	1	1	1,00	0,000
E18	1	1	1	4	1	1	1,50	1,118
PROMEDIO	3,50	4,11	2,78	3,61	2,39	2,78	3,19	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,833	1,663	1,902	0,891	1,161	1,436	1,143	